

الألكترونيات في خدمة التطبيقات الكهربائية



تأليف : نويل م. موسى

الالكترونيات في خدمة التطبيقات الكهربائية

تأليف

فويل م . موريس

ترجمة

الدكتورة سميرة رستم

قسم الكهرباء - كلية التكنولوجيا
جامعة حلوان
جمهورية مصر العربية

مراجعة

الدكتور محمد لطفى السيد

معيد كلية التكنولوجيا
جامعة حلوان
جمهورية مصر العربية

دار ماكجروهيل للنشر (المملكة المتحدة)

لندن . نيويورك . سانت لويس . سان فرانسيسكو . أوكلاه . بيروت .
بوهوتا . دوسلدورف . جوهانسبرج . لشبونة . لوسيرن . مدريد .
مكسيكو . مونتريال . نيونلبي . بنبا . باريس . سان جوان . سلواياولو .
ستغابورة . سيدنى . طوكيو . تورنتو .

نشر بمعرفة
دار كتب ماكجروهيل (المملكة المتحدة) ليمتد
ميدنهيد • بركنشاير • انجلترا

حقوق التأليف ١٩٧٦ • دار نشر كتب ماكجروهيل (المملكة المتحدة) ليمتد
جميع الحقوق محفوظة

Electronics For Works Electricians

Noel M. Morris

الطبعة العربية ١٩٧٨ • تصدر بالتعاون مع مؤسسة الاهرام بالقاهرة •

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو اختزان ملحقه بطريقة الاسترجاع أو نقله على أى نحو أو بأى طريقة سواء كانت الإلكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو بالتسجيل أو خلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقدمات.

07 084295 7

المحتويات

مقدمة :

الفصل الاول : دوائر التيار المستمر

- ١ ١ - ١ طبيعة التيار الكهربى
- ٣ ٢ - ١ اشياء الموصلات
- ٥ ٣ - ١ الكميات الكهربائية
- ٦ ٤ - ١ مضاعفات وجزئيات الكميات الكهربائية
- ٧ ٥ - ١ توصيل المقاومات على التوالي
- ٩ ٦ - ١ توصيل المقاومات على التوازي
- ١١ ٧ - ١ مصادر الجهد والتيار
- ١٤ ٨ - ١ اصطلاحات الضغط والتيار
المستخدمة فى الدوائر الكهربائية

الفصل الثانى : المقاومات

- ١٦ ١ - ٢ المقاومات الثابتة
- ٢٢ ٢ - ٢ قيم المقاوم المفضلة
- ٢٤ ٣ - ٢ الرموز الاصطلاحية لالوان المقاوم
- ٢٦ ٤ - ٢ المقاومات المتغيرة ومقياس الجهد (بوتنشيو متر)
- ٣١ ٥ - ٢ المقاومات الحرارية [الترمستور]
- ٣٣ ٦ - ٢ المقاومات تابعة الجهد

الفصل الثالث : المكثفات

- ٣٤ ١ - ٣ فكرة عمل المكثف
- ٣٥ ٢ - ٣ وحدات السعة الكهربائية
- ٣٦ ٣ - ٣ سعة المواد العازلة
- ٣٧ ٤ - ٣ سعة المكثفات متوازية الالواح
- ٣٨ ٥ - ٣ تيار الشحن والتفريغ
- ٤١ ٦ - ٣ توصيل المكثفات على التوازي
- ٤٢ ٧ - ٣ توصيل المكثفات على التوالي

٤٣	٢ - ٨ الدائرة المكافئة للمكثف
٤٤	٢ - ٩ أنواع المكثفات
٤٦	٢ - ١٠ الرموز الاصطلاحية للالوان والحروف للمكثف
٤٩	٢ - ١١ الثابت الزمني للدائرة السعوية
٥٢	٢ - ١٢ الاسلوب الفني للتشكيل الموجي - المفاضلات والمكاملات
٥٥	٢ - ١٣ دوائر المفاضل والمكامل المكونة من RC
٥٥	٢ - ١٤ المكثفات في دوائر التيار المتردد
٥٦	الفصل الرابع : ملفات المحثة
٥٦	٤ - ١ التشغيل والتركيب
٥٧	٤ - ٢ المواد المغناطيسية
٥٩	٤ - ٣ مواد الحجب المغناطيسي
٥٩	٤ - ٤ القوة الدافعة الكهربائية المستحثة ذاتيا (القوة الدافعة الكهربائية المعارضة) في الملف
٦٠	٤ - ٥ ازدياد واضمحلال التيار في دائرة محثه
٦٣	٤ - ٦ دوائر RL التفاضلية والتكاملية
٦٤	٤ - ٧ ملفات المحثة في دوائر التيار المتردد
٦٥	الفصل الخامس : الجهد المتردد والتيار المتردد
٦٥	٥ - ١ الاشكال الموجية المترددة
٦٩	٥ - ٢ القيمة المتوسطة للموجة المترددة
٧٠	٥ - ٣ قيمة جذر متوسط المربعات أو القيمة الفعالة للموجة المترددة
٧٠	٥ - ٤ بيان علاقة الطور
٧٢	٥ - ٥ اختلاف زاوية الطور
٧٤	٥ - ٦ جمع الموجات الجيبية
٧٥	٥ - ٧ التوافقيات
٧٧	الفصل السادس : دوائر التيار المتردد
٧٧	٦ - ١ المقاومة في دائرة التيار المتردد
٧٨	٦ - ٢ المحثة في دائرة التيار المتردد
٨١	٦ - ٣ المكثف في دائرة التيار المتردد

٨٢	٤ - ٦ دوائر التوازي المكونة من LC
٨٦	٥ - ٦ دائرة الرنين المتصلة على التوالي
٨٦	٦ - ٦ مقارنة رنين التوازي ورنين التوالي
٨٦	٧ - ٦ معلومة دوائر التيلر المتردد
٩٠	٨ - ٦ عرض النطاق الترددي لدائرة رنين
٩٢	٩ - ٦ القدرة المستهلكة في دائرة تيلر متردد
٩٢	٦ - ١٠ الديسيل
٩٥	الفصل السابع : المحولات
٩٥	٧ - ١ فكرة عمل المحول
٩٩	٧ - ٢ المحولات متعددة اللفات والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة
١٠١	٧ - ٣ أنواع المحولات
١٠٣	٧ - ٤ المحول كتيطة لمواصة المعاودة
١٠٥	٧ - ٥ دوائر المحولات تحت الأحوال المعبرة
١٠٦	الفصل الثامن : وحدات دايود الجوامد
١٠٦	٨ - ١ خواص الدايود
١٠٨	٨ - ٢ أنواع الدايود
١٠٨	٨ - ٣ وصلات تشباه الموصلات الثنائية (وحدات الدايود)
١١٢	٨ - ٤ دراسة خواص وصلات الدايود بالنسبة للتأثيرات الحرارية
١١٢	٨ - ٥ دوائر المقوم أحادي الطور
١١٩	٨ - ٦ مرشحات الموجات
١٢١	٨ - ٧ دوائر المقومات متعددة الطور
١٢٤	٨ - ٨ منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة
١٢٥	٨ - ٩ وقاية الوصلات الثنائية
١٢٧	٨ - ١٠ وحدات دايود زينار
١٣٠	٨ - ١١ دايود الانهيار مزدوج الاتجاه (دايك)

الفصل التاسع : وحدات الترانزستور

١٣٢	١ - ١	أنواع الترانزستور
١٣٢	٢ - ١	وحدات وصلة الترانزستور ثنائي القطب
١٣٢	٣ - ١	عمل وصلة الترانزستور
١٣٤	٤ - ١	خواص وصلة الترانزستور ذات الباعث المشترك
١٣٦	٥ - ١	توصيلة القاعدة المشتركة
١٤٠	٦ - ١	توصيلة المجمع المشترك
١٤١	٧ - ١	اتساق قدرة مبدا ومنحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبدا ودرجة الحرارة المحيطة
١٤١	٨ - ١	ترانزستورات التأثير المجالى
١٤٢	٩ - ١	ترانزستورات التأثير المجالى ثنائيات البوابة الموصلة
١٤٢	١٠ - ١	ترانزستورات التأثير المجالى ذى البوابة المعزولة
١٤٥	١١ - ١	ترانزستور احادى التوصيل
١٤٨	١٢ - ١	الترانزستور احادى التوصيل القليل للبرمجة
١٤٩	١٣ - ١	نظم ترقيم النبطية
١٥٠		

الفصل العاشر : الالكترونيات الضوئية

١٥٣	١ - ١٠	الطيف الكهرومغناطيسى المرئى
١٥٤	٢ - ١٠	خلايا الانبعاث الضوئى (الخلايا الضوئية)
١٥٦	٣ - ١٠	خلايا التوصيل الضوئى
١٥٩	٤ - ١٠	وحدات الدايود الضوئية
١٥٩	٥ - ١٠	الترانزستور الضوئى
١٦٠	٦ - ١٠	وحدات الثايرستور الضوئية
١٦١	٧ - ١٠	خلايا الجهد الضوئية او الخلايا الشمسية
١٦١	٨ - ١٠	نباط الانبعاث الالكترونى بتأثير الضوء
١٦١	٩ - ١٠	أدوات عرض الكاثود البارد (الغازية)
١٦٢	١٠ - ١٠	فتائل عرض الارقام

- ١٦٤ ١٠ - ١١ دايود الاتبعك الضوئى
١٦٧ ١٠ - ١٢ وحدات عزل التقارن الضوئى
١٦٨ ١٠ - ١٣ وحدات الدايدود القسفرورى
١٦٨ ١٠ - ١٤ مبيىن المسائل البلورى

١٧٠ الفصل الحادى عشر : المكبرات والدوائر المنطقية الاساسية

- ١٧٠ ١ - ١ أساسى المكبرات
١٧١ ١١ - ٢ مكبر أساسى من نوع الباعث المشترك
١٧٦ ١١ - ٣ قواعد سهلة وواضحة لحساب قيم مكونات الدائرة
١٧٨ ١١ - ٤ الاستقرار الحرارى للمكبرات
١٨٢ ١١ - ٥ مكبرات ترانزستور التأثير - المجالى
١٨٢ ١١ - ٦ عرض النطاق التردد للمكبر
١٨٦ ١١ - ٧ مكبر موالف
١٨٦ ١١ - ٨ مكبرات القدرة
١٩١ ١١ - ٩ الترانزستور كمفتاح
١٩٢ ١١ - ١٠ الدائرة الأساسية لمفتاح ترانزستور
١٩٤ ١١ - ١١ الدلالة الثنائية
١٩٤ ١١ - ١٢ بوابة اللامحاح NOT المنطقية
١٩٥ ١١ - ١٣ بوابة «و» (AND) وبوابة «او» (OR)
١٩٦ ١١ - ١٤ بوابتى NAND و NOR
١٩٩ ١١ - ١٥ شبكة الذاكرة للترانزستور (تطاط S-R)

٢٠١ الفصل الثانى عشر : الالكترونيات الدقيقة والدوائر التكاملية

- ٢٠١ ١٢ - ١ الدوائر الغشائية
٢٠٢ ١٢ - ٢ الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة
٢٠٤ ١٢ - ٣ صنع الدائرة المتكاملة تقايمة القطب
٢٠٩ ١٢ - ٤ تصنيع الدوائر التكاملية من اثبناه
٢٠٩ الموصلات الاكس معدنية
٢٠٩ ١٢ - ٥ تجميع الدائرة المتكاملة

- ١٢ - ٦ دوائر المقياس المتوسط التكاملة
والمقياس المكبر للدائرة التكاملية ٢١٠

٢١١ الفصل الثالث عشر : مكبرات التغذية المرتدة والمذبذبات

- ١٢ - ١ التغذية المرتدة السالبة والموجبة ٢١١
١٢ - ٢ أساس عمل مكبرات التغذية المرتدة السالبة ٢١١
١٢ - ٣ الأنواع الأساسية لمكبر التغذية المرتدة ٢١٥
١٢ - ٤ سمات مكبرات التغذية المرتدة السالبة
١٢ - ٥ مكبرات تليع الباعث وتليع المصدر ٢١٩
١٢ - ٦ مكبر شطر الطور ٢٢٢
١٢ - ٧ التغذية المرتدة الموجبة واللا استقرارية ٢٢٣
١٢ - ٨ دوائر مذبذبات المقاومات والمكثفات ٢٢٥
١٢ - ٩ دوائر مذبذبات الحاثات والمكثفات ٢٢٧
١٢ - ١٠ المذبذبات متعددة التوافقيات غير المستقرة ٢٢٩
١٢ - ١١ مولدات النبضات ٢٣١

٢٣٤ الفصل الرابع عشر : دوائر المكبر التشغيلي

- ١٤ - ١ ما هو المكبر التشغيلي ٢٣٤
١٤ - ٢ المكبر العاكس أو مغير الإشارة ٢٣٨
١٤ - ٣ مكبر جمع ٢٤٠
١٤ - ٤ دائرة تابعة الجهد ٢٤١
١٤ - ٥ المكبر الغير عاكس ٢٤٢
١٤ - ٦ مكبر تفاضلي أو مكبر عرقي ٢٤٣
١٤ - ٧ مقارن للجهد ٢٤٤
١٤ - ٨ دوائر التكامل الالكترونية ٢٤٦
١٤ - ٩ معادلة التردد للمكبرات التشغيلية ٢٤٨

الفصل الخامس عشر : مصادر القدرة ثلثة الجهد

٢٤٩ والكرونيات القوى الكهربائية

- ١٥ - ١ الحاجة الى مصادر قدرة ذات جهد ثابت ٢٤٩

٢٤٩	١٥ - ٢ فكرة عمل منظم التوالى للجهد
٢٥٠	١٥ - ٢ مرجع مصدر الجهد
٢٥١	١٥ - ٢ نبيطة التحكم الموصلة على التوالى
٢٥١	١٥ - ٥ منظم جهد موصل على التوالى
٢٥٢	١٥ - ٦ منظمات التوالى للوقاية من تجاوز التيار وتجاوز الجهد عند الخرج
٢٥٥	١٥ - ٧ وحدات الثايرستور
٢٥٥	١٥ - ٨ الثايرستور عكس الاماكة
٢٦٠	١٥ - ٩ الدوائر الاساسية للثايرستور
٢٦٣	١٥ - ١٠ نظم للتحكم فى سرعة المونور الجامع
٢٦٥	١٥ - ١١ دائرة قنطرية ثلاثية الطور يمكن التحكم فيها
٢٦٦	١٥ - ١٢ الثايرستور ثنائى الانجاء او التراك
٢٦٨	١٥ - ١٣ دائرة التراك احادية الطور
٢٧٠	١٥ - ١٤ التحكم فى تعجير الاشعاع
٢٧١	١٥ - ١٥ وحدات الثايرستور العاكسة
٢٧٢	١٥ - ١٦ محولات (مغيرات) التردد
٢٧٣	الفصل السادس عشر : معدات الاختبار
٢٧٣	١٦ - ١ المعدات المطلوبة فوق منفذة الاختبار
٢٧٤	١٦ - ٢ اجهزة قياس الملف المحرك متعددة المدى
٢٨١	١٦ - ٣ اجهزة الفولتميتر الالكترونية
٢٨٢	١٦ - ٤ مرسومات اشعة الكاثود للتذبذبات
٢٨٧	١٦ - ٥ استخدام مرسمة التذبذبات كجهاز للقياسات
٢٨٩	١٦ - ٦ الاجهزة الرقمية لقياسات التردد والزمن
٢٩٠	١٦ - ٧ وحدات الفولتميتر والمقايس متعددة المدى
٢٩٤	مراجع لزيد من القراءة
٢٩٥	قائمة بالمصطلحات
٣٠٤	فهرس ابجدى

مقدمة

لمصل التقدم التكنولوجي في شتى المجالات الى درجة من الاطراد السريع نشاطه ما بلغه ذلك التقدم في مجال الهندسة الالكترونية . فقد اصبح من الممكن ان يعمل على الدوائر والنظم الالكترونية الى الدرجة التي مكنها من ان تحل محل المعدات التقليدية في التطبيقات المنزلية والتجارية والصناعية .

وهذا الكتاب يقدم غرضين اولهما هو اعطاء معلومات خلفية لا تتضمنها في العادة مقررات الهندسة الكهربائية بخصى القوى الكهربائية . اما الغرض الثاني فهو لا يدور حول المعلومات الخاصة بأنواع ومدى المكونات والدوائر المستخدمة في التطبيقات العملية لحسب . بل انه يدور ايضا حول فلسفة التصميم الاساسية للدوائر الشائعة وايضا كان ذلك ممكنا ، فلقد استخدمت الامثلة لتوضيح كل النقاط عند ظهورها . ولقد حاولت الى النهاية ان احقق توازنا بين العرضيين المتتامين للتدريب والتعليم . فلك ان كليهما امر حيوي اذا مادعا الامر الى ان يحدد المشغلين بالتطبيقات الكهربائية موضع الاعطال في المعدات الالكترونية لاصلاحها ولتفهم الاسباب التي أدت الى حدوثها .

ولقد أدت التطورات لنمائط اشياء الموصلات الى ادخال وانتشار المعدات الالكترونية في المنزل والمكتب والمصنع . وسوف نركز في هذا الكتاب من البداية الى النهاية على كيفية استخدام نمائط اشياء الموصلات كوحدات الترانزستور ونمائط التأثير - المحال ووحدة التيرمستور والترايك . ويمكن تقسيم الكتاب بصفة اجمالية الى أربعة اجزاء هي :

القواعد الاساسية والنمائط (الفصول من ١ - ١٠) .

الدوائر الالكترونية (الفصول من ١١ - ١٤) .

مصادر القدرة الالكترونية والكثروبيات القوى الكهربائية (الفصل الخامس عشر) .

معدات الاختبار (الفصل السادس عشر) .

فى الابواب العشرة الاولى ، تمت تغطية نظريات التيار المتردد والتيار المستمر ، مع النماذج المستخدمة فى الدوائر الالكترونية . وتراوح هذه النماذج من المكونات البسيطة الى لا يمكن الاستغناء عنها مثل المقاومات والمكثفات والمعلات حتى العناصر الالكترونية الأكثر تعقيدا والتي تشمل وحدات وصلات الترانزستور ثنائى القطب ، وفرايزستور التأثير - المحالى ودابود القذف الضوئى ومبين السائل الملورى والترانزستور لحادى التوصيل والترايك .

ولقد خصصت الفصول من ١١ - ١٤ ، شاملة ، لكيفية عمل الدوائر الالكترونية وهي تشمل مكبرات الترانزستور ومكبرات السعة المترددة والمدمجات ودوائر المكنر التشغيلى . ولمى الحقيقة ، توضع المكبرات التشغيلية عند تلك المرحلة من الاهمية فى الالكترونىات والتي دعت الى تخصيص باب كامل لها . ولقد أصبح الحاسب الالكترونى فى وقتنا الحاضر واحدا من أكثر المعدات الالكترونية بروزا ، فالحاسبات الرخيصة أصبحت ميسرة بسبب التقدم فى فن صناعة (تكنولوجيا) الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة مصحوبا بالتقدم فى الدوائر الالكترونية المنطقية . هذا وتقدم الدوائر المنطقية فى الفصل الحادى عشر ويركز الفصل الثانى عشر على تكنولوجيا الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة .

ويتم توضيح مصادر القدرة الالكترونية اللازمة لنوعى « التيار الخفيف » و « التيار الثقيل » فى الفصل الخامس عشر . ولقد تضمنت هذه المصادر ، مصادر القدرة ثلثة الجهد التى تهيء جهودا يمكن التحكم فيها على وجه التحفة للمعدات الالكترونية . ولقد عرض أيضا وحدات الثايرستور والترايك مع تطبيقات على التحكم فى سرعة المحركات الكهربائية وعكسات القدرة ومحركات التردد .

وفى النهاية ، تناقش فى الفصل السادس عشر معدات الاختبار شاملة المقاييس المتعددة المدى ومرسكات ائمة المهيط والفولتمترات الالكترونية والفولتمترات الرقمية .

وأود أن أسجل شكرى للمساعدة والمشورة الطيبة خلال فترة تأليف الكتاب والتي غمرتني من السيد/ د . وانداز رئيس التدريس على وسائل الإنتاج بمتحد هندسة الإنتاج للأبحاث وكذلك السادة زملائه . وبالإضافة ، لود أن أشكر القامين بالصناعات الالكترونية لما قدموه من المعلومات القيمة المرتبطة بالدوائر والنظم المقدمة فى الكتاب .

ومن وجهة نظر شخصية ، أود أن أشكر زوجتى ، لا من أجل مساعدتها وصبرها وتفهمها أثناء الكتابة فقط وإنما بسبب الجهود المضنية التى بذلتها أثناء فترة الإعداد .

نويل . م . موريس

الفصل الاول

دوائر التيار المستمر

١-١ طبيعة التيار الكهربى

يمكن تفسير التيار الكهربى على أساس تحرك « حاملات الشحنة الكهربائية » بين نقاط فى دائرة . ولكى نفهم سريان التيار الكهربى يلزم أن نعرف شيئاً عن التركيب الذرى للمواد المستعملة فى الدوائر الالكترونية .

تتكون الذرات — من وجهة النظر الهندسية — من نوعين من « الجسيمات المشحونة » ، هـ الإلكترونات والبروتونات . وتعتبر الإلكترونات أخف كثيراً من البروتونات . إذ تبلغ كتلة الإلكترون $\frac{1}{1836}$ من كتلة البروتون . كذلك فإن الشحنة الكهربائية التى يحملها الإلكترون تكون سالبة ، بينما تلك التى يحملها البروتون تكون موجبة . والشحنتان متساويتان فى المقدار ومتعاكستان فى الاتجاه . ولأن البروتونات أكثر وزناً فتتركز فى مركز (أو نواة) الذرة ، كما هو مبين بالشكل (١ - ١) ، بينما تدور حولها الإلكترونات فى مدارات على شكل « طلاقات » أو « حلزمية » أو « أملفه » . لتبسط ذلك يمكن تشبيه الذرة بموقف سيارات متعدد الطوابق . هنا يمكن اعتبار مستوى سطح الأرض ، أو مستوى الاسناد ، كنواة الذرة ، فى حين أن الطوابق المحيطة بركن السيارات فى هذا الموقف تمثل المدارات التى سواجد بها الإلكترونات . والإلكترونات التى تشترك فى عملية التوصيل الكهربى تدور فى اقصى مدار خارجى ممكن . يعرف باسم « المدار التكافؤى » أو « شريط الطاقة التكافؤى » .

وعندما يطبق جهد كهربى على موصل فإن الإلكترونات الموجودة فى المدار التكافؤى (تسمى « الكبرونات التكافؤى ») تتعرض لقوة كهربية تعمل على دفع الإلكترونات نحاء القطب الموجب للمصدر . إذا كانت هذه القوة كبيرة بدرجة كافية فإنها تستطيع أن تحرر بعض هذه الإلكترونات من تأثير القوى التى تربطها بالذرة ، ويبدأ سريان التيار فى الدائرة من تلك الإلكترونات التى تصل إلى القطب الموجب للمصدر . وطبقاً للمعرف المعمول به فى الهندسة

الكهربيته « من التيار يسلب حارحا من القطب الموجب لمصدر الامداد ، اي ان الاتجاه الاصطلاحي لاسباب التيار يكون عكس اتجاه سريان الالكترونات » عندما يسري التيار بالطريقة الموصحة عليه فان الالكترونات تسلك خلال الموصل تحت تأثير الجهد المسلط عليه . ونتيجة لذلك فان هذا النوع من اسباب التيار يسمى اسباب تيار الاسباق *drift current flow* .

واذا عرلنا ذره واحده نجد ان محصله الشحنة الكهربية عليها تساوي صفرا . لان الشحنة الموجبة على النواة تتعادل بمع الشحنة السالبة للالكترونات الدائرة حولها .



شكل ١ - ١ الالكترونات في مكانها حول النواة

عندما يبلب احد الالكترونات من الذرة ، فانه يحول الى شحنة سالبة حرة الحركة وحيث ان الذرة قد فقدت الكترونا (شحنة سالبة) فانها تصبح موجبة الشحنة بها تماثل شحنة وحدة البكترونية . لذا سوف تسعى كل ذرة ان تحدث لنفسها ايا من الالكترونات الحرة الحركة المتواجده بالقرب منها . وعلى هذا الاساس يمكن اعتبار شحنة الذرة الموجبة كمحوة الكترونية ، نفهوم يعمل حامل الشحنة الموجبة سالما كما اعتبر كل الكترون كدامل لشحنة سالبة . فالمحوة الالكترونية التي هي مساطه عمارة عن غلب لالكترون من نقطة في التركيب الذري كان من الطبيعي ان سواحد بها . وحيث ان المحوة ما هي الا حامله للشحنة الحرة الحركة سالما كالكترون الحر الحركة ، لذا فان ترميز المحوة كما هو موضح اعلاه يصبح على وجه التحديد غير دقيق . وعلى اي حال فالوصف السابق يحتم العرض من تقدم المفهوم الاساسي للمحوة الالكترونية .

ويسرى سبب تحلي الالكترون من الذرة « الام » الى اكتسبه فقرا من الطاقه بكنهه لكي يفلت من تأثير قوى الربط الذرية . ويمكن ان تأتي هذه الطاقه من عدة مصادر لعل اكثرها شيوعا هو الحو المحيط بنا [درجة

الحرارة المحبطة | وفي درجة حرارة الحجره على عددا كبيرا من الالكترونات في الموصلات الكهربائية تكون قد اكتسبت تحركا كافيا من الطاقة للاندفاع من الدرات « الام » . لذلك ، على أعدادا كبيرة من الالكترونات الحرة في الموصلات الكهربائية تكون جاهزة للمساهمة في التوصيل وسحرك من الموصل بطريقة عشوائية . وعندما تتراكم هذه الالكترونات الحرة في لحظة معينة عند احدى النقط ولتكن A في الموصل الكهربائي المعزول كما هو موضح بالشكل ١ - ٢ مما يسبب عنه ان تصبح هذه النقطه سالبة الشحنة . وفي نفس الوقت ، سيتواجد عجز في الالكترونات عند نقطة اخرى ولتكن B ، وهكذا تصبح نقطة B الموجبة الشحنة أعلى جهدا من النقطة A . وتنتشر الالكترونات عند النقطة A بالبالى لقوة جذب في اتجاه النقطة B . عندئذ سيبذل الالكترونات الحرة الى التحرك بعبر انظم الموصل بطريقة عشوائية ، ويسمى هذا النوع من التحرك لحاملات الشحنات بتيار الانتشار . «diffusion currents» وبالمسما لاى مادة كهربائية ، يحدث الانتشار لحاملات الشحنة عندما يوجد

موصل



شكل ١ - ٢ توضح آلية تيار الانتشار

تركيز لحاملات الشحنة الحرة في أى جزء من المادة مما يؤدي الى تحرك الشحنات الحاملة من منطقة التركيز الاكثر الى منطقة التركيز الأقل .

وفي الباب التاسع مسعرم طريقة تشغيل وصله الترانزستور ذي القطبين بدلاله تيار الانتشار وتيار الاتساق .

٢ - ١ أشباه الموصلات

اشياء الموصلات هي مواد تقع مقاومتها بين مقاومة الموصلات الجيدة والمواد العازله . ومواد اشياء الموصلات الشائعة الاستعمال في تصنيع الصمامات الثنائية والترانزستور هي السليكون والجرمانيوم أما تلك التي تستخدم في تصنيع الصمامات الثنائية الماعثة للضوء فهي زرنيخيد الجاليوم وغوسفيد الجاليوم .

وأكثر المواد شبه الموصله استعمالا هو عنصر السليكون الذي يوجد في أنواع عديدة من الصخور والاحجار والمرمل مثلا ما هي «لا ثقي أكسيد السليكون» .

تحتزل المواد شبه الموصله في مرتبة درجة حراره عاليه حتي يصعب في صوره نقه . وينسب الفيزيائي خلال الماده شبه الموصله النقيه ، كما سبق وأوضحنا في الجزء ١ - ١ كنهه للالكترونيات والفجوات التي تولدت بواسطه التأثير الحراري . مادام سلط مرق جهد كهده بين طرفي الماده شبه الموصله فإن الالكترونات الحرة تنطلق في اتجاه القطب الموجب للمصدر بينما تنطلق الفجوات في اتجاه القطب السالب . ويرداد عدد الالكترونات المطلقة من الدرات الام لشبه الموصل بزيادة درجة الحرارة المحطه . اذ فكل قيمة معينه من مرق الجهد يزداد سريان التيار داخل الماده شبه الموصله مع ازيادة درجة الحرارة ، أي أن ، مقاومة الماده تقل مع تزايد درجة الحرارة . وسنرى آخر . ماشاء الموصلات لها معام مقاومت حراري سالب .

ويمكن التحكم في المواد شبه الموصله المستعملة في صناعه النماط (devices) الإلكترونيه بتنظيم اضافة كمية من الشوائب أثناء التصنيع علما بأن هذه الكمية تطلع في العادة جزءا من المليون من أجزاء الماده النقيه . وساء على نوع الشوائب المضافة لشبه الموصل يمكن توصيفه إما بالنوع الموجب (p) أو بالنوع السالب (n) وسيتناول فيما بعد شرح هذه المسيمات .

في مواد النوع الموجب ، يسج عن الشوائب المضافة أن يرصد عدد الفجوات « الحرة » عن عدد الالكترونات « الحرة » (وملاحظ أن النوع الموجب يعنى بالضرورة حاملات حرة للشحنات الموجبة) . لذلك عند اتسياب التيار في الماده موجبة النوع من أكثرية هذا التيار المنسب تكون نتيجة لمحرك حاملات الشحنة الموجبة في اتجاه القطب السالب للمصدر . وساهم حركة الالكترونات في اتجاه القطب الموجب للمصدر بجزء محدد جدا من القيمة الاحتمالية للتيار السالب . لذا توصف الفجوات بحاملات الشحنة ذات الاغلبية بعكس الالكترونات فهي حاملات الشحنة ذات الاقلية وذلك بالنسبة للنوع الموجب من المواد شبه الموصله . هذا وبصاف مواد مثل الحالسيوم أو الانديوم لتخرج مع السليكون النقي لإنتاج النوع الموجب من أشباه الموصلات .

أما اذا اصفت مواد مثل الزرنيخ أو الانيمون لاحتلط مع السليكون أو الحرمةيوم النقي ، لاصبح لدينا ما يسمى بالنوع السالب من اشاء الموصلات مما ينتج عنه أن يزيد عدد الالكترونات « الحرة » عن عدد الفجوات « الحرة » (وملاحظ أن النوع السالب يعنى بالضرورة حاملات حرة للشحنات السالبة) وبالتالي فالالكترونات في هذا النوع هي حاملات الشحنة ذات الاغلبية بعكس الفجوات التي تعتبر حاملات الشحنة ذات الاقلية . وان سريان التيار

في المواد ذات النوع السالب يكون سحبة لانتماع الالكترونات في اتجاه القطب الموجب للمصدر .

ويستعمل كلا النوعين السالب والموجب لاشباه الموصلات في تصنيع نط لاشباه الموصلات .

١ - ٢ الكميات الكهربائية

ببما تتفق الكميات المستخدمة في كل من الدوائر الالكترونية والدوائر الكهربائية ، الا انه يوجد فرق اساسي بينهما وهو حجم الوحدات . ففي الدوائر الكهربائية ، نقيم القدرة المستهلكة عادة بوحدات من الكيلو وات او الميجاوات ، بينما من النادر ان يريد مستوى القدرة في الدوائر الالكترونية من بضعة من وحدات الوات ، بل في اغلب الاحيان قد تكون بعضا من وحدات الملى وات [الملى وات = $\frac{1}{1000}$ وات] . وستعرف فيما يلي الكميات الكهربائية الاساسية .

كمية الكهرباء . ورمزها Q [كمية الكهرباء المارة عبر نقطة في دائرة ما هي :

$$Q = It \quad (\text{رمز الوحدة } Q \text{ كولوم})$$

حيث I هي قيمة تيار الدائرة مقدرا بالامبير و t هو الزمن الذي يستغرقه مرور التيار مقدرا بالثانية . لذا ، اذا مر تيار قيمته ٥ ا امبير لمدة من الزمن قدرها ٣ ثوان ، تكون كمية الكهرباء المارة بأي نقطة في الدائرة هي

$$Q = It = 1.5 \times 3 = 4.5 \text{ كولوم}$$

الجهد الكهربائي [ورمزه E] ان فرق الجهد بين نقطتين في دائرة يحدد فيما يعرف بمقاوم اوم وهو $E = IR$ فولت حيث R هي مقاومة الدائرة بين النقطتين . وتوجد صورتان اخريان لقانون اوم هما

$$R = E/I \quad \text{و} \quad I = E/R$$

الطاقة الكهربائية [ورمزها W] يمكن ايجاد الطاقة المستهلكة في الدائرة الكهربائية بالعلاقة التالية .

$$W = EIt \quad \text{joules او watt-seconds} \quad [\text{رمزه } J]$$

والكيلو وات ساعة هو الوحدة التجارية للتعبير عن الطاقة الكهربائية حيث يساوي الكيلو وات ساعة ١٠٠٠ وات ساعة او ٣٦٠٠.٠٠٠ وات ثانية . فاذا كان لدينا

$$E = 240 \text{ V} , I = 2 \text{ A} , t = 3 \text{ S}$$

فإن الطاقة المستهلكة في الدائرة تلح

$$W = EIt = 240 \times 2 \times 3 = 1440 \text{ watt-seconds or joules} \\ = 0.4 \text{ watt-hours}$$

الطاقة الكهربائية | ويرمزها P ، القدرة هي معدل استهلاك الطاقة
ويمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$P = EI = I^2 R = E^2 / R \text{ watts } | \text{ ويرمزها } W$$

١ - مضاعفات وجزئيات الكميات الكهربائية

إن غالبية الوحدات الأساسية المستعملة في هندسة القوى الكهربائية تكون إما كبيرة بدرجة غير مقبولة أو أصغر بكثير من مثلام، في الدوائر الإلكترونية . مثلاً ، الكيلو وات (وهو الوحدة الفعلية للقدرة المستهلكة في الدوائر الكهربائية) يعادل مليون ضعف للـ (واط) وهو الوحدة الأساسية المناظرة للدوائر الإلكترونية . كذلك إذا لمعت قيمة مقاومة الموصل جزءاً من الأوم فإنها تصدر قيمة مرتفعة في دوائر القوى الكهربائية ، بينما يمكن اعتبار المقاومة التي تبلغ قيمتها ١٠٠٠ أوم في بعض الدوائر الإلكترونية صغيرة . ويوضح الجدول رقم ١ - ١ بعض مضاعفات وجزئيات الوحدات الثلاثة . مثلاً تعمل بعض الدوائر الإلكترونية عند تردد عدة جيجا هرتز (1 GHz - 1000 million hertz) ونقل قيم المكونات لثل هذه الدوائر بالنانوهراد

$$(1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} = 0.001 \text{ } \mu\text{F} = 1000 \text{ pF}).$$

وفي بعض الدوائر الأخرى ، يمكن قياس شدة التهرب خلال الترانزستور بالنانو أمبير

$$(1 \text{ nA} = \text{one thousandth of one millionth of an ampere}).$$

وسنوضح فيما من أحجام الوحدات الأخرى في الأمثلة التالية :

مثال ١ - ١ إذا سلط جهد كهربى بمقداره 10V على دائرة كهربائية مقاومتها 20 MΩ ، احسب قيمة التيار المار في أدائره وكذلك قيمة القدرة المستهلكة .

الجدول رقم ١ - ١ : مضاعفات وجزئيات الوحدات

الرمز	البادئة	المضاعف
T	tera	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$
G	giga	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
M	mega	$10^6 = 1\,000\,000$
k	kilo	$10^3 = 1\,000$
c	centi	$10^{-2} = 0.01$
m	milli	$10^{-3} = 0.001$
μ	micro	$10^{-6} = 0.000\,001$
n	nano	$10^{-9} = 0.000\,000\,001$
p	pico	$10^{-12} = 0.000\,000\,000\,001$
f	femto	$10^{-15} = 0.000\,000\,000\,000\,001$
a	atto	$10^{-18} = 0.000\,000\,000\,000\,000\,001$

الحل

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{20 \times 10^3} = 0.5 \times 10^{-6} \text{ A} = 0.5 \mu\text{A} = 0.0005 \text{ mA}$$

$$= 500 \text{ nA}$$

$$P = EI = 10 \times 0.5 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-6} \text{ W} = 5 \mu\text{W} = 0.005 \text{ mW}$$

$$= 5000 \text{ nW}$$

مثال ١ - ٢ . احسب الطاقة المستهلكة في مقاومة كهربية مقدارها 100 k اذا ما سيط بين طرفيها جهد كهربائي مقداره 12 mV ولعدة 60 s .

الحل

$$I = \frac{E}{R} = \frac{12 \times 10^{-3}}{100 \times 10^3} = 0.12 \times 10^{-6} \text{ A}$$

$$= 0.12 \mu\text{A}$$

$$W = EIt = (12 \times 10^{-3}) \times (0.12 \times 10^{-6}) \times 60$$

$$= 86.4 \times 10^{-9} \text{ watt-seconds or J}$$

$$= 86.4 \text{ nJ}$$

$$= 0.0864 \mu\text{J}$$

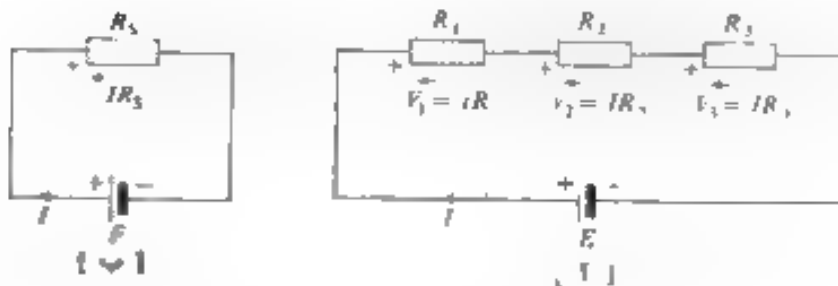
١ - ٥ توصيل المقاومات على التوالي

يقال ان المقاومات متصلة على التوالي اذا اسباب نفس التيار في كل منها كما هو مبين بشكل ١ - ٣ .

هبط الجهد او فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_1 ، هو IR_1 وبين طرفي المقاومة R_2 يكون IR_2 . بينما تكون قيمته IR_3 بين طرفي المقاومة R_3 . وتكون القوة الدافعة الكهربائية E مساوية لمجموع فروق الجهد المذكورة . وذلك ندرس ان المتوالت الثلاث الموضحة

(١ - ١)

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$



شكل ١ - ٣ دائرة تحتوي مقاومات متصلة على التوالي

بالشكل رقم ١ - ٢ | أريد أدلت بمقاومه واحده مكافئه مقدارها R_S كما هو موضح بالشكل رقم ١ - ٣ . ب . وشرط أن لا يتغير قيمة التيار I في كلتا الحالتين . أو معنى آخر

(٢ - ١)

$$E = IR_S$$

ولكى تتكافأ الدائرتين كهربائيا ، ينبغي أن يساوى كلتا المعادلتين رقمي | ١ - ١ | و | ٢ - ١ | للدائرتين الكهربائيتين . أي أن

$$E = IR_S = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

(٢ - ١)

أو

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

وهكذا يسر المعادله رقم ١ - ٢ أن قيمة المقاومه المكافئه لدائره تشمل مقاومات متصلة على التوالي يساوى المجموع الكلي للمقاومات المنفردة . وهكذا يكون قيمة المقاومه المكافئه اكبر من اقصي قيمة لأي من المقاومات التي تشتملها هذه الدائره .

مثال ١ - ٣ . وصلت ثلاث مقاومات على التوالي ضمن دائره اكبرويه مصدر للجهود سعته 12V بحيث أصبحت فيه التيار 6 mA . فإذا كانت قيمة احدى المقاومات $1 \text{ k}\Omega$ بينما بلغ فرق الجهد بين طرفي مقاومة ثانية 3.6V . احسب القيمة العددية للمقاومة الثالثة .
الحل : الدائره التي في هذا المثال هي من النوع المس في شكل ١ - ٢ | وحيث أن قيمة التيار I بلغ 6 mA ، فستطبق المعادله | ٢ - ١ | تكون المقاومة المكافئه للدائره هي :

$$R_S = \frac{E}{I} = \frac{12 \text{ V}}{6 \text{ mA}} = \frac{12}{6 \times 10^{-3}} = 2000 \Omega$$

إذا كانت $R_1 = 1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$ وإذا كان فرق الجهد بين طرفي R_2 هو 3.6V . وبما أن قيمة التيار المس بلغ 6 mA . لذا يكون قيمة R_2 كما يلي :

$$R_2 = \frac{3.6 \text{ V}}{6 \text{ mA}} = \frac{3.6}{6 \times 10^{-3}} = 0.6 \times 10^3 \Omega = 600 \Omega$$

والآن

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

أو

$$2000 = 1000 + 600 + R_3 = 1600 + R_3$$

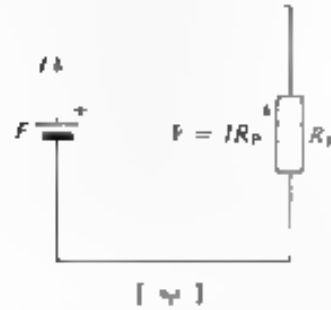
لذلك

$$R_3 = 2000 - 1600 = 400 \Omega$$

١ - ٦ توصيل المقاومات على التوازي

يلاحظ أن فرق الجهد بين أطراف المقاومات المتصلة على التوازي ثابت ولا يختلف . ففي الدائرة الموضحة بالشكل ١ - ١١ يتساوى فرق الجهد V_1 على المقاومة R_1 مع فرق الجهد V_2 على المقاومة R_2 . وبمساوى كل من فرق الجهد مع ضغط المصدر E . وهكذا يكون

$$E = V_1 = V_2 = I_1 R_1 = I_2 R_2$$



شكل ١ - ١٢ دائرة مقاومات متصلة على التوازي

وحيث أن قيمة التيار الكلي الخارج من المصدر لا تتغير ، لذا فإن قيمة التيار المار من اتجاه التوصله A يتساوى مع مجموع التيارات الخارجة منها . أي أن

$$(١ - ١) \quad I = I_1 + I_2 = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

ماداً استبدلنا المقاومين الموضحين في الشكل ١ - ١٢ بمقاوم مكافئ مقدارها R_p كما هو موضح بالشكل ١ - ١٢ ب حيث يتساوى قيمة التيار المار في المقاوم R_p مع قيمة التيار الكلي I والذي يعطى مجموعة التوازي الموضحة بالشكل رقم ١ - ١٢ أ فتكون

$$(١ - ٢) \quad I = \frac{E}{R_p}$$

وحيث أن قيمة التيار الذي يعدي كل دائرة لا تتغير ، فإن

$$I = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{E}{R_p}$$

أي أن

$$(6-1) \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وبمعنى آخر ، تتساوى قيمة مقلوب المقاومة المكافئة لدائرة التوازي مع حاصل جمع مقلوب المقاومات كل على حده . وبسبب عن ذلك أن تقل قيمة المقاومة المكافئة لدائرة التوازي عن أصغر قيمة لأي من هذه المقاومات في السدائر ، ماذا لنصل متوابعان R_1 و R_2 على التوالي كحالة خاصة ، فإن المقاومة المكافئة لهما تأخذ القيمة التالية :

$$(7-1) \quad R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

حاصل ضرب قيمة المقاومين

مجموع قيمة المقاومين = أي

مثال ١ - ٤ يتكون الحمل الموصل لمكبر ترانسفور من مقاوم $10 \text{ k}\Omega$ متصلة بالتوازي مع مقاوم $100 \text{ k}\Omega$. احسب المقاومة المكافئة لمجموعة التوازي هذه .

الحل . حيث أن الدائرة تحوى على مقاومين فقط ، فإنه من الممكن استخدام المعادلة [٧ - ١] لاجاد المقاومة المكافئة كما يلي :

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10\,000 \times 100\,000}{10\,000 + 100\,000} = \frac{1\,000\,000\,000}{110\,000} = 9090 \Omega$$

$$= 9.09 \text{ k}\Omega$$

ويلاحظ أن قيمة R_p تقل عن أصغر قيمة لأي من المقاومين في الدائرة

مثال ١ - ٥ . إذا مر تيار مقداره 1.1 mA في مجموعة التوازي ، الموضحة بالمثل ١ - ٤ احسب فرق الجهد الناتج بين طرفي المجموعة وكذلك ما تستهلكه من قدرة كهربائية .

الحل . حيث أن $R_p = 9090 \Omega$ يكون فرق الجهد من طرفي الدائرة

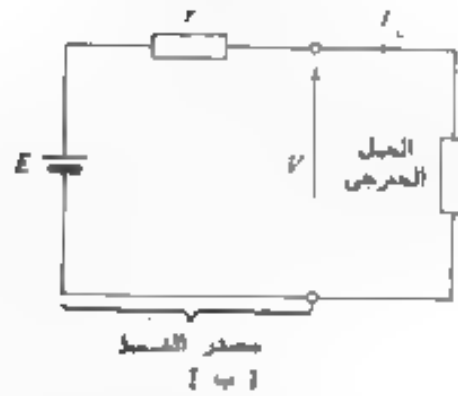
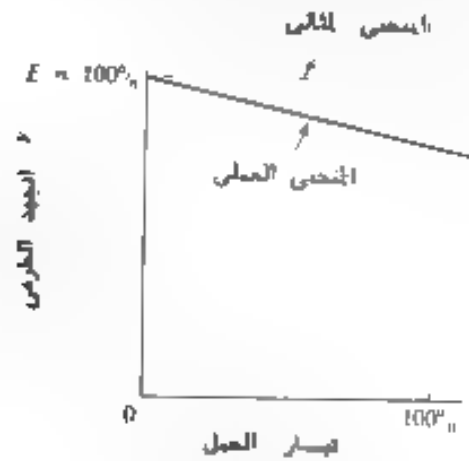
$$V = IR_p = 1.1 \times 10^{-3} \times 9090 = 10 \text{ V}$$

ومصبح القدرة المستهلكة

$$P = VI = 10 \times 1.1 \times 10^{-3} = 11 \times 10^{-3} \text{ W} = 11 \text{ mW}$$

١ - ٧ مصادر الضغط والتيار

« مصدر الضغط » هو الاسم الذي يطلق في مجال الإلكترونيات على مصادر القدرة التي تعطى جهداً يكاد يكون ثابتاً مهما كانت قيمة التيار المسحوب . ويعتبر مصدر الضغط « مونتجيا » متى انعدم قيمة مقاومته الداخلية وبالتالي يستطيع أن يحافظ على ثبات الجهد الطرفي مهما رادت قيمة التيار الممدى للحمل ويوضح الشكل ١ - ٥ (ب) حاسبة مثل هذه الدائرة



شكل ١ - ٥ (أ) خواص مصدر الضغط (ب) رسم داترتيا

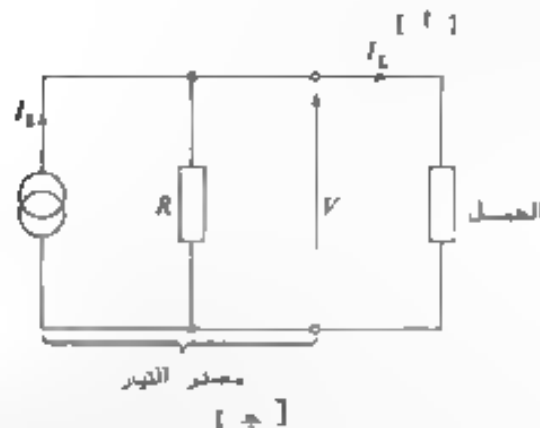
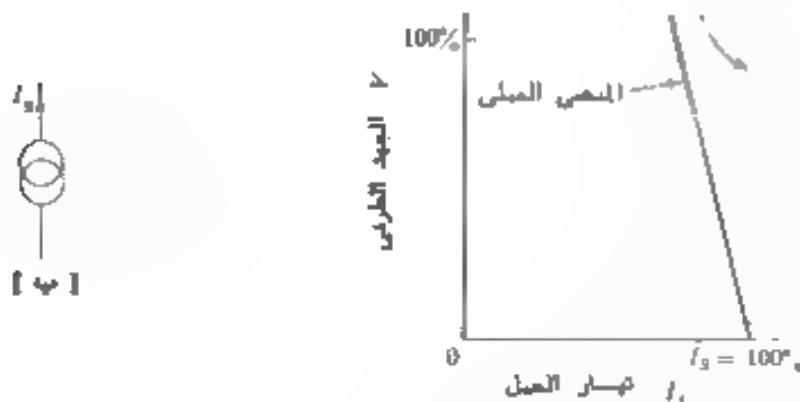
وتتملك مصادر الضغط المستخدمة في الحياة العملية مقاومة داخلية ونقل جهد الطرفين كلما زادت قيمة التيار المسحوب . وتسمى الدائرة الكهربائية المكافئة لهذا المصدر ، في بعض الأحيان بمصدر الضغط المكافئ ، لتبين أن هذا هو مبدئ العمل . ويعطى جهد الطرفين V بالمعادلة التالية

$$V = E - Ir$$

حيث تكون E هي قيمة الضغط بين طرفي الدائرة في حالة اللاحيل وتكون I هي قيمة التيار المسحوب في حالة وجود الحمل بينما تكون r هي المقاومة الداخلية لمصدر الجهد ومن الضروري أن تكون أنصبي معينة ليعطى الضغط الداخلي $I r$ صغيرة إذا ما قوربت بقيمة E إذا ما أردنا اعتبار المصدر المغذي وكأنه « مصدر جهد » . ومن ضمن أمثلة مصادر المعدة التي تعتبر في الحية العملية كمصادر جهد توجد الخلايا الثانوية ومولدات التيار المستمر والمتغيرات وكذلك منظمات ضغط التي تعطي ضغطاً خارجياً لنا [أنظر فصل ١٥] .

أما « مصدر التيار » فيعتبر نموذجياً متى استطاع المحافظة على ثبات قيمة التيار المغذي للحمل ، بصرف النظر عن قيمة مقاومة هذا الحمل . لذا ، من مثل هذا المولد للشار يستطيع من الوجهة النظرية أن يحافظ على ثبات قيمة التيار حتى إذا أصبحت مقاومة الحمل صفريه [دائرة قصر] أو بلغت قيمتها $1000 M\Omega$ مثلاً [دائرة مفتوحة في الواقع] وبوصف الخط المتقطع في الشكل ١ - ٦ [١]

النص التالي



[٦]

شكل ١ - ٦ خواص مصدر التيار [ب] اصطلاح الدائرة الكهربائية التي تمثل مصدر التيار المثالي [ج] الدائرة المكافئة لمصدر التيار المستخدم في الحياة العملية .

خواص مثل هذا المولد . ومن الصعب تنفيذ مثل هذه الدائرة من الناحية العملية ، حيث أنه لابد أن تكون لديها القدرة من الناحية النظرية لأعطاء

ضغط خرج لا نهائى . وعلى أية حال فمن الممكن ان نستخدم الدوائر الالكترونية للحصول على ما يقارب الى حد كبير مثل هذه الخواص المثالية ولكن فى نطاق حدود من قيم التيار المسحوب .

ولكى يستطيع القارئ ان يدرك مصور ما نعنيه بمصدر التيار ، فربما يكون من الملائم ان نعتبره جهدا كهربيا عاليا متصلا على التوالي بمقاومه كمرة . فمثلا اذا كن هناك مصدر للتيار يمتدنا بشار قدره 1 mA من الممكن اعتباره كجهد كهربي قيمته 100 KV متصلا على التوالي مع مقاومه داخلية مقدارها $100 \text{ M}\Omega$. فاذا حدث قصر بين طرفي هذا المصدر فلن تبارا كهربي يمرى قيمته $10^{-3} \text{ A} = 100 \times 10^3 / (100 \times 10^6)$ او 1 mA اذا تم توصيل حمل من طرفي هذا المصدر بمقاومة قدرها 1000Ω فان التيار الكهربائي يخذ القيمة التالية

$$100 \times 10^3 / (100 \times 10^6 + 10^3) \approx 10^{-3} \text{ A}$$

ومن الواضح جدا ان القيم المذكورة اعلاه لنجد الدخلى والمقاومة غير عملية ، ومع ذلك ، فمن الممكن تصميم بعض الدوائر الالكترونية التى تتحد ظاهريا مثل هذه القيم . ويوضح الشكل ١ - ٦ [ب] واحدا من الاصطلاحات المستخدمة لدائرة مصدر التيار ثابت القيمة .

اما الشكل ١ - ٦ [أ] فيبين خواص واحد من مصادر التيار المسحوبة فى التطبيقات العملية . وتتكون دائرته المكافئة كما هو مبين بالشكل ١ - ٦ [د] من مصدر مثالى للتيار ثابت العتبة وقد اوصل بين طرفيه مقاومة قيمتها R . ويسمى مثل هذا النوع من الدوائر « بالدائرة المكافئة لمورش » بالنسبة لمصدر التيار . وتكتسب بعض معدات المرازمفور والاهزة الكهروضوئية صفات مصدر التيار بالنسبة لحزء محدد من خواصها .

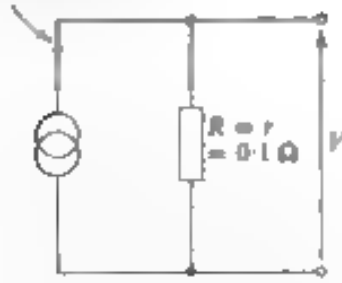
وقطعا ، من الممكن اعتبار خواص جميع مصادر القوى الكهربائية اما من طرار مصادر الضغط او من مصادر التيار . وتحدد العلاقة بين مجموعتي الدوائر المكافئة الموضحة بالشكل ١ - ٥ [ب] والشكل ١ - ٦ [د] كما يلى :

$$R = r$$

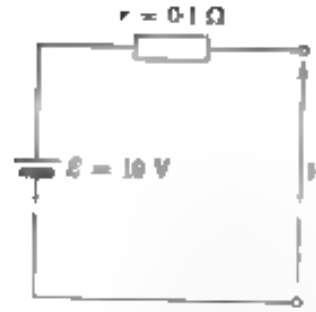
$$I_s = \frac{E}{r} = \frac{E}{R} \quad \text{و}$$

وهكذا ، نستطيع ان نمثل بطارية ذات جهد طرفى بدون حمل مقدارها 10 V ولها مقاومة داخلية مقدارها 0.1Ω بالحدى الدائرتين الموضحتين فى الشكل ١ - ٧ .

$$I_s = \frac{E}{r} = \frac{10}{0.1} = 100 \text{ A}$$



[ب]

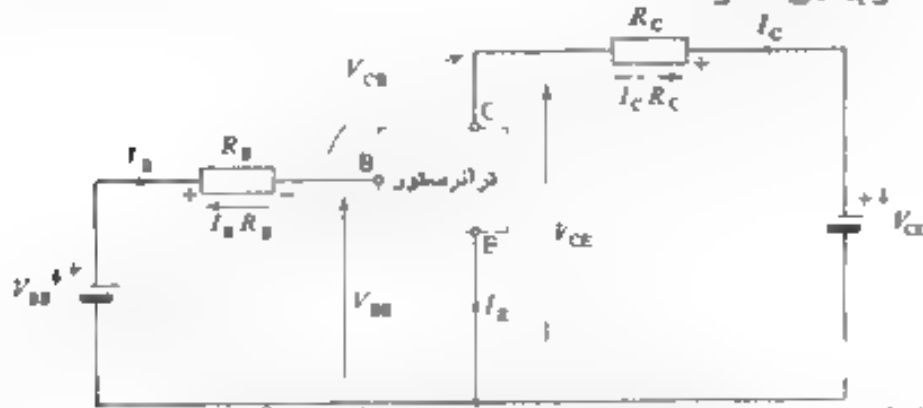


[ا]

شكل ١ - ا) الدائرة المكافئة لمصدر الضغط ، و الب) يمكن ان تصيرل بالدائرة المكافئة لمصدر التيار [ب]

٨ - ١ اصطلاحات الضغط والتيار المستخدمة في الدوائر الكهربائية

يبين على الرسم التخطيطي للدائرة اتجاه التيار المر خلال سلك مسدنى منهم مرسوم على هذا السلك ، حيث يشير السهم للاتجاه الذي يسير خلاله التيار . ونمثل الدائرة الموضحة بالشكل ١ - ٨ مكرراً بسيطاً من الترانزستور ، حيث يسير من خلاله التيار I_B ممحاً للطرف B ، وينسحب التيار I_C متجهاً الى الطرف C ، ممياً ينسحب التيار خارجاً من الطرف E .



شكل ١ - ٨ اصطلاحات الضغط والتيار المستخدمة في الدوائر الكهربائية

أن الجهد الكهربائي لنقطة ما هو فرق الجهد بين هذه النقطة ونقطة أخرى ثابتة . وعادة ما تكون هذه النقطة الثابتة في الدائرة الإلكترونية ما متصلة بالأرض أو بشاسيه الجهاز . وبين فرق الجهد بين نقطتين في الدائرة مرسوم سهم بين هاتين النقطتين كما هو موضح في الشكل . ويقصد بفرق الجهد V_{BE} جهد النقطة B بالنسبة الى E ويقصد بفرق الجهد

V_{CE} جهد النقطة C بالنسبة الى E ويكتب الرمز V_{CE} للشكل الموضح
 كمرق للجهد بين الطرفين C ، B حيث $V_{BE} =$ جهد نقطة C بالنسبة
 الى B = [جهد C بالنسبة الى E] - [جهد B بالنسبة الى E]

$$= V_{CB} - V_{BE}$$

لذلك . اذا كان جهد C هو $+6V$ بالنسبة الى E ، واذا كان جهد B
 هو $+0.3V$ بالنسبة الى E ، فان

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 6 - 0.3 = 5.7V$$

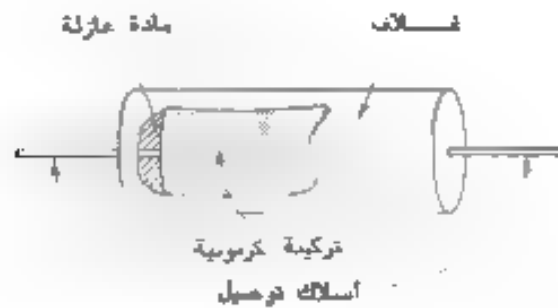
الفصل الثاني

المقاومات

تستخدم طرق كثيرة لصناعة المقاومات الثابتة والمغيرة المستعملة في الصناعات الالكترونية وسوف نوضح ببساطة بعض الانواع الهامة منها :

٢ - ١ المقاومات الثابتة

المقاومات كربونية التركيب : تصنع المقاومات كربونية التركيب [انظر شكل ٢ - ١] من اكرين المسحوق ومادة غير موصله مثل مسحوق سيراميك [الفخار]



شكل ٢ - ١ مقاوم من مادة كربونية التركيب

تصنع المادة بالشكل المطلوب ، والذي يكون عادة اسطوانيا ثم تحدد بالحرارة ويرش طرنا المقاومة مسطح حتى يمكن عمل التوصيلات بالاسلاك الخارجية ، وهناك طريقة اخرى ، تمثل في كس الطرفين بطاقتين معدنتين . وفي اغلب الاحوال يطلق اسم « المقاومات الكربونية » على مثل هذا النوع من المقاومات . وقد استحدثت هذه المقاومات كربونية التركيب بكثرة ولامد طويل في مجال المقاومات الا ان انواعا اخرى بدأت في منافستها . ويتم تصنيع مثل هذه المقاومات بقيم تتراوح بين 10Ω و $100 M\Omega$ وتقلص قيم هذه المقاومات بعد تصنيعها وتصنف كبحمولات بقيم منخفضة [انظر

الفصل ٢ — ٢ [. وحيث أن قيمة كل مقاومة على حدة تختلف عادة من القيمة العالية لكل مجموعته منه قد أصبح من الشائع عمليا أن يحدد قيمة التفاوت المسموح به لكل مجموعة .

وهكذا ، فإن المقاومة ذات القيمة الاسمية المحددة بـ ١٠ أوم ، ولها تفاوت مسموح به مقداره $\pm 10\%$ تقع قيمتها الحقيقية في هذا المدى .

$$\text{أقل قيمة} = 10 \Omega - (10\% \text{ of } 10 \Omega) = 10 - 1 = 9 \Omega$$

$$\text{أكبر قيمة} = 10 \Omega + (10\% \text{ of } 10 \Omega) = 10 + 1 = 11 \Omega$$

ومن الممكن تقبل تفاوت في المدى من $5\% \pm$ إلى $10\% \pm$ في احوال التشغيل العادية .

أما في الأغراض الدقيقة فيسمى تصديق هذا المدى من التباين المسموح به ومعتمد كمية الحرارة المسموح بها لكل مقاوم إذا مرر به تيار كهربائي على قدره التقديرية وإلى حد كبير ، يعتمد قدره التقديرية على أبعاد المقاوم حيث أنها هي التي تحدد مساحة السطح المتاحة للاشعاع الحراري . وتبلغ القدرة التقديرية المعتادة لمثل هذه المقاومات الكربونية ما يعادل $\frac{1}{4}$ ، ١ ، ٢ ، ٤ ، ١٠ ، ٢٠ واط . ويتم تصنيع بعض منها بسعات من القدرة أكبر من التي ذكرت . ويوضح الجدول أدناه بعض من الأبعاد المعتادة للمقاومات الكربونية التركيب .

القطر (mm)	الطول (mm)	القدرة التقديرية (W)
2.5	8	$\frac{1}{4}$
4	10	$\frac{1}{2}$
6	16	1
8	18	2

ويمكن حساب أقصى قيمة للتيار الكهربائي المسموح به لكل مقاوم على حدة بمعرفة قدرته التقديرية من هذه العلاقة .

$$P^2 R = \text{القدرة التقديرية} = [\text{أقصى تيار}]^2 \times \text{المقاومة}$$

حيث —

$$\text{التيار} = \sqrt{(\text{القدرة التقديرية} / \text{المقاومة } R)}$$

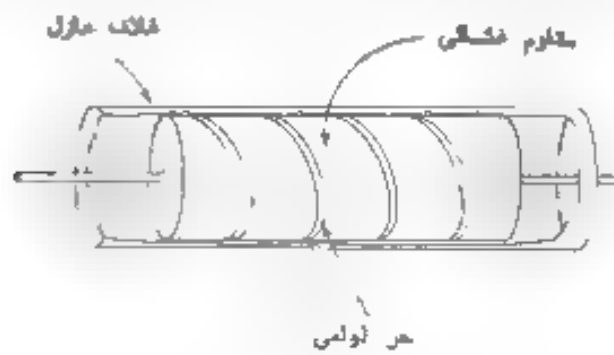
فالمقاوم 10Ω الذي تبلغ قدرته 2 W يمكن أن يتحمل تيارا بحد أقصى قدره

$$I = \sqrt{(2/10)} = \sqrt{0.2} = 0.45 \text{ A}$$

وينبغي أن يدرك القارئ أن القيمة العادية للتيار في الدوائر التي يتم تصميمها يقل عن الحد الأقصى . ومن المعلوم أنه في حالة التشغيل المستمر

للمقاومات الكربونية قدرتها التقديرية من أى زيادة فى جهد المصدر أو فى درجة الحرارة المحيطة سيؤدى إلى تغيير ماطر فى قيمة المقاومة . وعلاوة على ذلك ، فإن ثبات قيم هذا النوع من المقاومات يعتمد على مدى الطويل ، ويمكن أن ينعير قيمة المقاومة إلى ما يعادل خمسة فى المائة خلال عام واحد . ومن الممكن أن تنحرف قيمة هذه المقاومات الكربونية عن حدود التفاوت المسموح به ، إذا ما سرى بها تيار كهربائى رند عن الحد أو إذا ما تم تشغيلها فى جو شديد الحرارة . وفى بعض الأحوال ، تعتبر قيمة المقاومات نميراً طمياً مع تغير قيمة جهد المصدر وبسبب من هذه العيوب الموصحة أعلاه أنه قيود يمكن أن تحد من استخدام هذه المقاومات طالما أن تصميم الدوائر وتشغيلها قد تم على وجه صحيح . مقلة تكلف ومصر حجم المقاومات كربونية التركيب تميزها أساساً عن كافة الأنواع الأخرى .

المقاومات الغشائية : يتطلب تصميم المقاومات الغشائية نشر غشاء (film) محتاس من مادة ذات مقاومة حول سطح قصبة أسطوانى ويمكن زيادة مقاومة أى مقاوم بقطع حر لولوى فى هذا الغشاء وبذلك يتغير شكل مسار المقاومة بين الأطراف كما هو موضح بالشكل (٢ - ٣) .



شكل ٢ - ٢ مقاوم غشائي

وتوجد ثلاثة أنواع مشهورة للمقاومات الغشائية ، منها الغشاء الكربونى ، غشاء الأكسيد المعنى ، وكذلك الغشاء المعنى . وعموماً ، من الممكن أن يصنع المقاومات الغشائية مصنعة على درجة قريبة من الدقة لو أنها دقيقة الصنع ، ويستخدم كلا الغشائين الكربونى والأكسى معدس بكثرة فى الإعراس العامة كمنشقة للنظور فى الإنتاج الأوملى . مقاومات الغشاء الكربونى [مقاومات الكربون المشققة ، ويصنع هذا النوع من المقاومات بامرار بحار الكربون المشبع بالهيدروجين فى حالة بقيه وعند درجة حرارة تبلغ حوالى 1000°C على قصار من مادة حرمة . ويتخلل البحار [غيباً يعرف بحلبه التشقق وينتكون غشاء رقيق من الكربون فوق القضايل ويصنع النهايات للتوصلات الخارجية عند طرمى التضييب . وعمداً ندعو الحاجة لمقاومات ذات حاصية عالية من الثبات فقد أعتبر مثل هذا النوع من المقاومات كبديل وحيد للمقاومات ذات السلك الملفوف . وقد اشتهرت مقاومات الغشاء الكربونى بالتالى على أنها ذات قيم عالية من الثبات .

ولوقاية مقاومات الغشاء الكربوني من تلوث الجو فانه من المعتاد طلاءها بعدة طبقات من اللاكيه او بطبقه لأكيه معطاة بشريط من البلاستيك . وتحدث تغيرات كيميائية في الغشاء كنتيجة لحو البحر وسسه الرطوبه العاليه مما يؤدي الى تغير في قيمة المقاومة وينبغي اتخاذ الاحتياط أيضا لعدم تشميل المقاومات لمدد طويلة حثيه أن يحدث تفاعل كيميائي بين مادة الغشاء المقاوم والطبقة الواقيه . كنتيجة للتزايد المائي في درجة الحرارة وتعرض مقاومات الغشاء الكربوني للتآكل الإلكتروني اذا ما وصلت اطرافها لسطح كهربائي مستمر مع بواحد جو رطب ، إلا أن الطبقة الواقيه تمنع هذا التآكل .

وتتراوح قيمة مقاومات الغشاء الكربوني مادة بين 10Ω و $10 M\Omega$ وتقدرات مقدارها $\frac{1}{2} \pm 1$ ، $\frac{1}{2} \pm 2$ ويحتار التفاوت المسموح به عادة لمثل هذا النوع بـ 5% ولو أنه من الممكن أيضا أن يقتصر هذا التفاوت الى 1% ، 2% .

مقاومات غشاء الأكسيد المعدني : ويطلق أيضًا اسم مقاومات الغشاء الأكسيدي وهي تتكون من أكسيد القصدير المترسب حول دليل تشكيل خزني .

تتراوح قيم المقاومات ما بين 1Ω الى $2 M\Omega$ وتتراوح قيم التفاوت المسموح به من 1% الى 5% .

ويمكن تشغيل مقاومات الغشاء الأكسيدي على درجات حرارة أعلى من التي تشتمل عليها مقاومات الغشاء الكربوني ولكن بمقدار أقل من الثالث . ولهذا السبب يمكن اعتبار مقاومات الغشاء الأكسيدي من بعض الاحيان كمقاومات متعددة الاعراس طبقا لقدرتها التقديرية . نادراً حدثت القدرة التقديرية لمقاومه الغشاء الأكسيدي بـ $\frac{1}{2}$ وات مثلاً ، ماتها تعتبر مقاومة ذات قيمة اقرب الى الحقبة [أ] ان مقاومتها تعتبر بدرجة طفيفة مع القناتم ومع درجة الحرارة [ب] ، أما اذا رشت القدرة التقديرية الى $\frac{1}{2}$ وات فان المقاومه تعتبر من هذه الحالة متعددة الاعراس . فاداً تم تشغيل هذه المقاومه بقدرة استهلاك تقارب 1 وات فانها تعتبر مقاومه قدرة .

مقاومات الغشاء المعدني : ولمثل هذا النوع من المقاومات يتم تبخير غشاء معدني رقيق من شبكة النيكل والكروميوم في العادة ، حول سطح اسطوانتي عززل من مادة خزنة ، وفي جو مفرغ من الهواء . وكما يتضح في الاتواع الأخرى من المقاومات الأخرى العشائية ، يمكن التحكم في قيمة المقاومة بعمل قطع لولبي بالغشاء .

وتماثل المسادة المقاومه في مثل هذا النوع مقاومه السلك المستخدم في المقاومات ذات السلك الملفوف ، ولها الخواص الهامة الأتية :

[1] تكون مقاومتها على درجة عالية من الثبات عندما يتم تشغيلها عند درجة حرارة ثابتة .

[ب] لها معامل مقاومة حراري منخفض [م.م.ح] ، ويستحسن ان يكون معامل المقاومة الحراري منخفض ، حيث انه في هذه الحالة يكون التعبير في المقاومة شئلا بالنسبة لكل معبر محدد في درجة الحرارة . ومن الممكن التحصل على مقاومات الغشاء المعدني ذات معامل مقاومة حراري تتراوح قيمه بين 5 الى 100 جزء من مليون لكل درجة حرارة واحدة مئوية ، بينما يبلغ قيمة هذا المعامل أكثر من 1000 جزء من مليون لكل درجة واحدة مئوية من المقاومات كربونية التركيب . وعلى هذا يصح من الارقام السابقة ان التعبير في المقاومة كربونية التركيب يتراوح بين عشرة أمثال اى مائتي مثل التعبير الذي يحدث للمقاومة ذات الغشاء المعدني وذلك بالنسبة لنفس التعبير في درجة الحرارة بكل منهما .

وعلى العموم ، فان تصنيع مقاومات الغشاء المعدني يتم في ثلاثة من التدرجات التالية : الطرار المقارب للدقة والطارر الدقيق والطارر المرط في الدقة . علما بان هذه الانواع الثلاثة تتدرج في ثبات قيمة مقاومتها وفي صغر قيمه التغيرات المسموح به لكل منها . فالمقاومات ذات الطرار المقارب للدقة تعطى بعلونا مسموحا به بين 0.1 الى 1 في المائة بسبب يكون التغيرات المسموح به بالنسبة للطارر المرط في الدقة محصورا بين 0.001 الى 0.1 في المائة .

مقاومات الغشاء السميكة (مقاومات السيرميت) .

تصنع هذه المقاومات بان يرسيب غشاء سميكة [في العادة يبلغ سمكه مائة ضعف نظيره من مقاومات الغشاء الكربوني] مكون من خليط السيراميك والمعدن [سيرميت] حول سطح المادة السيراميكية . سحر المقاومة في زمن فتصنع مقاومة زجاجية ذات غشاء سميكة .

عندما تصنع كل مقاومة على حدة فوق سطح اسطوانى عازل من المادة فانها تصنع مقاومة معدنية رجاحية او مقاومة السيرميت (وكلية سيرميت مشتقة من المقطعين الاولين لكلمتي حرم ومعدن باللغة الانجليزية) ويمكن التحكم في قيمه مقاومة المقاوم المطلوبة بعمل قطع حلزوني في الشريط . وعادة يقدر قيم المقاومات المصنعة في الحدود من 10Ω الى $2.5 M\Omega$ تقديريه بما يعادل 2 W وتسمح بعض المصانع بمقاومتها بقيم تقع في حدود اقل من المذكورة وتتغيريات تصل الى 8 وات ، وفي العادة يبلغ التفاوت المسموح به 1-5% بالنسبة لدى القدرات الاصغر بينما يصل الى 10% بالنسبة لدى القدرات الاكبر . وتكامل المقاومات بعد تصنيفها لتصبح وحدات صلبة قادرة على مقاومة الصدمات والاهترارات في أية تطبيقات عنيفة في البيئة المحيطة .

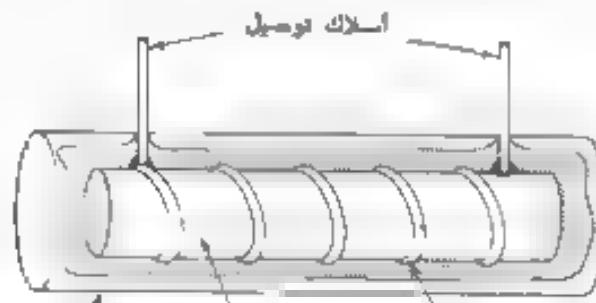
تستخدم شبكات من مقاومات الغشاء السميكة في فواتر محولات القيم الرقمية الى القيم التناظرية [انظر الفصل السادس عشر] وفي بعض

المعدات الالكترونية الاخرى وتمنع موى سطح عازل من الماده الحربية .
ومى احدى طرق الانتاج التى تسمى طريقة « الطبع والحرق » ، يطبع الحر
والذى يحل فى تركيبه السيرميت او اى ماده اخرى مشابهة ، موى السطح
العازل من الماده الحربية والتى حدد بها الشكل الهيكلى للمقاومات المطلوبه
ثم تترك لجف وبعدھا محرق فى احد الامران ومن الممكن طبع هياكل اخرى
للمقاومات على نفس سطح الماده فى مرحله لاحقه من عمله الانتاج ، على
أن يستخدم خبر آخر من نوع مختلف حتى يعطى مقاومه نوعية مخالفه .

المقاومات ذات الغشاء الرقيق . تصنع مقاومات الغشاء الرقيق بترسيب
الماده المقاومه ، بعد أن يتم تحجيرها فى حو مفرغ تماماً من الهواء ، فوق
سطح الماده العازلة ، وعادة ما تكون الماده المقاومه اما سبيكة نكل وكروم
او سبيكة نكل وكوبلت . ويوجد تكتيك آخر لانتاج مقاومات الغشاء
الرقيق يستخدم فيه التناثوم المطلى بالالومنيوم . ومن الممكن ضبط قيمه
المقاومه بحرقه غشاء الماده . وتتراوح قيم المقاومات المتحة بين 1Ω
الى 50 MΩ مع تفاوت مسموح به يمكن اختياره فى المدى من 1-5% .

مقاومات السلك الملتف : يصنع هذا النوع بلف عدة لفات من السلك
على دليل تشكيل مخروط . وتصنع مواد السلك من سبائك النيكل والكروم ،
التي تستخدم بكثرة ، بسبب مقاومتها النوعية المرتفعة ، ولأن معامل مقاومتها
الحرارى منخفض القيه ، كما وان هذه المواد لها مقاومه ذات درجة عالية
من الاستقرار .

ويضم مقاومات السلك الملتف وحدات تقع فى المدى ابتداء من مقاومات
القدرة الى تلك التى يمكن أن تتحد فيها على درجة عالية من الدقة . وقد
تتراوح قيم مقاومات القدرة ذات السلك الملتف بين بصع وحدات من
الوات وعدد من وحدات الكيلو وات . ولوقايه المواد المقاومه من تأثيرات
الوسط المحيط ، تعطى اما بطبقة واقية من الطلاء الزجاجى (انظر شكل
٢ - ٣) او بخلطه من الرمل والاسمنت . هذا ومن الممكن تشغيل المقاومات
المغطاة بالمعطاء الزجاجى حتى درجة حرارة حوالى ٤٥٠° م . بينما يمكن
تشغيل الانواع الاخرى والمغطاة بخلطة السليكون والاسمنت حتى حوالى
٣٠٠° م . علماً بأن تكلفة النوع الاخير اقل من النوع الاول



شكل ٢ - ٢ مقاومه سلك ملتف ، مغطاة بخلطة زجاجية .
سلك مقاومه دليل تشكيل طبقة زجاجية مطلى بالها

وذلك يستخدم بكثرة في المبدات الصناعية والمنزلية .
وسوجد مقاومات القسوى بقم شراوح بين 10Ω الى $1M\Omega$
بثفاوته مسموح به من 5% — 1

اما بالنسبة لمقاومات السلك الملفوف المستحدبة معمليا فيكون الثماوت
المسموح به محصورا بين 0.1% الى 0.01 % فقط .

٢ - ٢ قيم المقاوم المفضلة

لاخطا بيما سبق ان قيم المقاومات المستحدبة عمليا تقع في مدى الثماوت
المسموح به . مثالا بالنسبة لمقاوم به قيمة اعتباره قدرها 47Ω وثماوت
مسموح به 10% تكون قيمه واقعة في المدى

$$\text{القيمة العظمى} = 47 + 4.7 = 51.7\Omega$$

$$\text{القيمة الصغرى} = 47 - 4.7 = 42.3\Omega$$

وقد يبدو لاول وهله ان اقيمه الاعشارية للمقاوم وقدرها 47Ω هي قيمة
اختيارية . ولكنها في الحقيقة هي قيمة واحدة من ضمن مجموعة القيم التي
تغطي المدى المحصور بين $10-100\Omega$ ماقل عدد من المقاومات ، وكذا لتعطيه
المصاعفات العشرية لمثل هذا المدى . ونعرف هذه القيم على انها « القيم
المفضلة » ، وقد ادرجنا جميع هذه القيم بالحدول [٢ — ١] لتفاوتات مسموح
بها قدرها 5, 10, 20 في المائة .

جدول [٢ — ١] القيم المفضلة للمقاومات للمدى من $10-100\Omega$

النسبة المئوية للتفاوت		
20%	10%	5%
10	10	10
		11
	12	12
		13
15	15	15
		16
	18	18
		20
22	22	22
		24
	27	27
		30
33	33	33
		36
	39	39
		43
47	47	47
		51
	56	56
		62
68	68	68
		75
	82	82
		91

وتحذر القيم المفصلة بحيث أن قيمة مقاومة المقاوم عند أدنى حد للتفاوت المسموح به تساوى بالمقريب قيمة مقاومة المقاوم الأقل « قيمة مفصلة » ، مباشرة عند أقصى حد للتفاوت المسموح به . وبالمثل ، تكون قيمة المقاوم عند أقصى حد للتفاوت المسموح به مساوية على وجه التقريب لقيمة مقاومة المقاوم الأكبر « قيمة مفصلة » مباشرة عند أدنى حد للتفاوت المسموح به . ويمكن توضيح ذلك بالنسبة للمقاومة 47Ω بتفاوت مسموح به قدره 10% كما يلي :

القيمة الاسمية (Ω)	قيمة الحد الأدنى (Ω)	قيمة الحد الأقصى (Ω)
39	42.3	42.9
47	50.4	51.7
56		

ومى التطبيق العملى يمكن الحصول على المضاعفات العشرية للقيم المدرجة فى الجدول [٢ - ١] . فمثلاً ، بالنسبة للمقاومات كربونية التركيب يحوى المدى المعتاد لمضاعفات مقاومة ذات القيمة 22Ω القيم التالية .

$22 \Omega, 220 \Omega, 2.2 k\Omega, 22 k\Omega, 220 k\Omega, 2.2 M\Omega$

وحالياً يستخدم كثير من رجال الصناعة الرمز BS 1852 مع الرسم التخطيطى للدائرة لكى تعطى المعلومات التالية .

[١] تحديد مكان العلامة العشرية فى قيمة المقاومة

[ب] تحديد المضاعف العشري

[ج] وبالإضافة ، قد تعطى معلومات من اختيار التفاوت المسموح به . ومن الممكن تحديد مكان العلامة العشرية وكذلك قيمة المضاعف العشري بواسطة الحروف الأبجدية التالية .

الحرف	المضاعف
R	$\times 1$
K	$\times 1\,000$ (3 zeros)
M	$\times 1\,000\,000$ (6 zeros)
G	$\times 1\,000\,000\,000$ (9 zeros)
T	$\times 1\,000\,000\,000\,000$ (12 zeros)

وتوضح الأمثلة التالية طريقة استعمال هذه القابلة :

0.18 Ω تكتب	R 18	1 k Ω تكتب	1 KO
1 Ω تكتب	1 R 0	68 k Ω تكتب	68 R
3.9 Ω تكتب	3 R 9	1 M Ω تكتب	1 MO
47 Ω تكتب	47 R	22 M Ω تكتب	22 M
100 Ω تكتب	100 R	120 M Ω تكتب	120 M

ويحدد الحروف التالية الرموز الاصطلاحية للقيم المنقاة للفاوت المسموح به

المضاعف (٪)	الحرف
0.1	B
0.25	C
0.5	D
1	F
2	G
5	J
10	K
20	M
30	N

وعبما يلي بعض الامثلة المعتادة

$$R18J = 0.18 \Omega \pm 5\%$$

$$47RK = 47 \Omega \pm 10\%$$

$$1K0F = 1 k\Omega \pm 1\%$$

$$4M7M = 4.7 M\Omega \pm 20\%$$

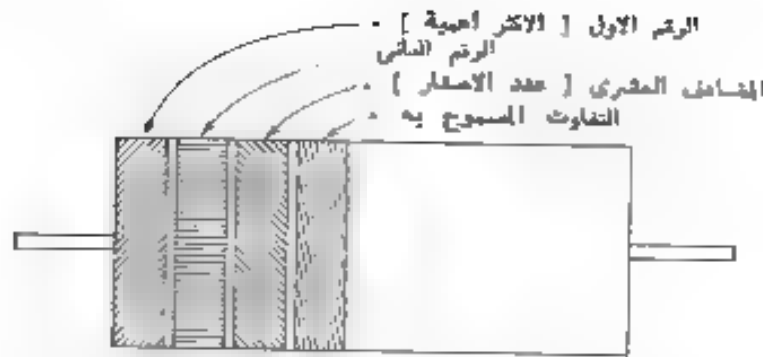
وستعمل نسخة معدلة من هذه الرموز الاصطلاحية مع المكثفات * انظر الفصل الثالث] .

٣ - ٢ الرموز الاصطلاحية لالوان المقاوم

توضح قيمة المقاومة بعظم المقاومات [ما عدا انواع السلك الملفوف] المستخدمة في الالكترونيات برموز اصطلاحية للالوان . وبالنسبة للرمز الاصطلاحى المستخدم للمقاومات ذات النهايات المحورية بطبع لشرطة الالوان على جسم المقاومة فيما يعرف باسم « نظام الشريط الملون » [انظر شكل ٢ - ٢] ويوضح الجدول ٢ - ٢ رموز الالوان الاصطلاحية والمستخدمة حالياً .

جدول ٢ - ٢ رموز لالوان المقاوم

اللون	قيم اول وثانى ارقام تحت العشرة	المضاعف الى يسار العلامة (تفاوت ٪) العشرة	عدد الاصفر
ذهبي	0.01		20
اسود	0.1		10
بنى	1		5
احمر	10	1	1
برتقلى	10 ¹	2	2
أصفر	10 ²	3	3
أخضر	10 ³	4	4
ازرق	10 ⁴	5	5
بنفسجى	10 ⁵	6	6
رمادى	10 ⁶	7	7
أبيض	10 ⁷	8	8
	10 ⁸	9	9



شكل ٢ - ٢ شريط الملون لرموز الالوان

والجدول التالي يعبر [اهداء السيد المهندس س. ح. و. م. من معهد شمال سياتورد شاير التكنولوجيا للمؤلف] أداة مفيدة جدا للمساعدة على تذكر ترتيب رموز الالوان .

القيمة	الالوان	مساعد للتذكر
0	Black	Bye
1	Brown	Bye
2	Red	Rose
3	Orange	Off
4	Yellow	You
5	Green	Go
6	Blue	Bristol
7	Violet	Via
8	Grey	Great
9	White	Western

ويوضح الشكل ٢ - ٥ [١] واحدا من الامثلة لاستخدام نظام شريط الالوان ، فقيمة الرقم الاول وهو الاكثر اهمية يعطى شريط من اقصى يسار شريط التفاوت المسموح به . اب قيمة الرقم الثاني يعطى شريط اللون الثاني ، ويعطى الشريط الثالث اللون قيمة المضاعف العشري فلذا قرأت القيم المأخوذة من الشكل ٢ - ٥ [١] مع الاستعانة بالجدول (٢ - ٢) فلنأخذ نتحصل على :

اللون	القيمة
أكثر الأرقام أهمية	4
أقل الأرقام أهمية	7
المضاعف	2
التفاوت	10 %
	أى صفيرين
	بنفسجى
	أصفر
	فضى

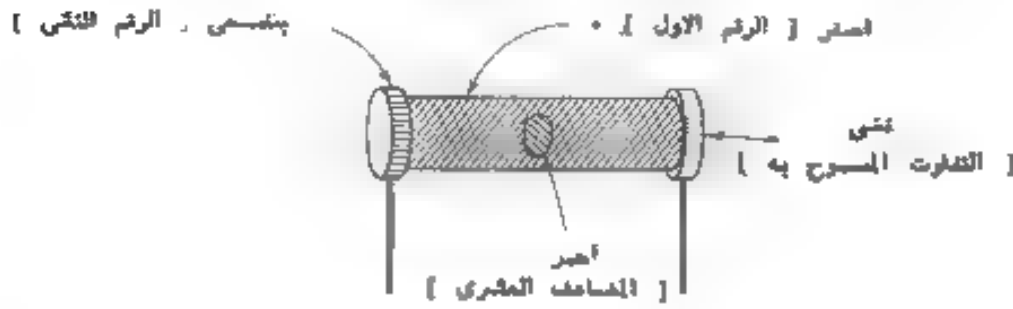
وهكذا تكون قيمة المقاومة $4700 \Omega \pm 10\%$. وبكسر ميان قيمة هذه المقاومة على الرسم التخطيطى للدائرة $4.7k$. وعندما لا يتواجد شريط التفاوت المسموح به ، يفهم من ذلك ان التفاوت المسموح به يبلغ $\pm 20\%$

- أحمر [المصاعف المعبرى]
- أصفر [الرقم الأول]



- بني [التفات المسوح به]
- بنفسجي [الرقم الثاني]

[١]



[٢]

شكل ٢ - ٥ الرموز الاصطلاحية لالوان المقاومات [١] نظام الشريط الملون و [٢] نظام نقطة وطرفا الجسم .

يوضح شكل ٢ - ٥ [ب] الطريقة القديمة غير المستخدمة حاليا والتي كانت تستخدم رموزا دولية للالوان وتسمى نظام نقطة - وطرفا - الجسم هذه الطريقة هي لثلاث شويوعا من نظم الشريط الملون . وفي هذه الطريقة القديمة يعطى لون الجسم قيمة الرقم الأول [وهو الأكثر أهمية] بينما يحدد لون الطرف الذي يقع في أقصى يسار لون التفات المسوح به ، قيمة الرقم الثاني . أما قيمة المصاعف فتحدد قيمته بلون النقطة فوق الجسم وبالمثل ، يمكن تحديد قيمة المقاومة الموصحة بالشكل ٢ - ٥ [ب] بـ 47kΩ ، وإذا تمعير طريقة الرموز الاصطلاحية الالوان مناسبة لتحديد قيمة المقاومات إلا أن لها مدة عيوب هي :

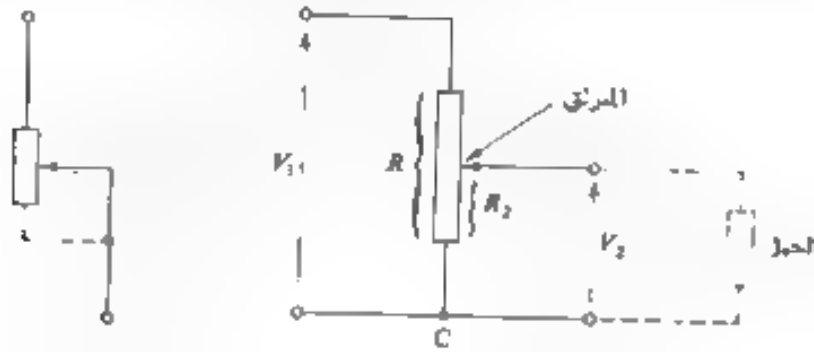
- [١] من الممكن أن تتغير الالوان مع القدم وكثرة الاستعمال .
- [٢] يحتمل أن يتغير اللون ظاهريا تحت ظروف الاضاءة الصناعية .
- [٣] يعني عمال الصيانة المصابون ببعض الالوان صعوبات لتحديد قيم المقاومات .

٢ - ٤ المقاومات المتغيرة ومقياس الجهد [بولتنشيومتر]

مقياس الجهد هو مقسم للجهد انظر شكل (٢ - ٦) حيث تتحدد قيمة فولت الخرج V_2 لكل من فولت الدخل V_1 وكذلك حركة المنزلق على مقياس الجهد . وتحدد قيمة فولت الخرج في حالة اللاحمل بما يلي :

$$V_2 = V_1 \times R_2/R \text{ volts}$$

ويعتبر مقياس الجهد خطيا اذا وجد تناسب بين V_2 وحركة المنزلق الثالثة من النقطة المشتركة C وفي هذا الموضع من المقومات ،



[١٠]

[١١]

شكل ٢ - ٦ [١] مقياس الجهد [ب] مقاوم متغير

تكون العلاقة على الرسم الذي يبين تعبير V_2 مع حركة المنزلق عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الاصل . وفي العادة ، تحيد العلاقة التي نحصل عليها بالنسبة للفرقات العادية عن الخط المستقيم الا ان الانحراف عن الخط المستقيم يقل عن مقدار 0.5% في مقياس الجهد دقيقه الصانع .

وعندما يراد استخدام الجهاز كمحدد مقاوم متغير ، تنفذ التوصيلة الموصلة بالشكل ٢ - ٦ [ب] وفي بعض الاحيان ، يكون من الانسب ربط النهاية غير الموصلة بالصفر بالمنزلق كما هو مبين بالتوصيلة الظاهرة بالخط المنقطع في شكل ٢ - ٦ [ب] .

وتتميز قيمة المقاومة لكثير من مقاييس الجهد المستخدمة في المعدات السمعية بسعة لوماريتية مع حركة المنزلق . ويعرف هذا النوع من الفرقات ، مقاييس الجهد اللوماريتية . ويسمح مثل هذا الطراز من مقاييس الجهد بموائمة الاجهزة السمعية مع استجابة اذن الانسان .

وبين الجدول الاتي ندرج الاصناف الشائعة لمقاييس الجهد والمقومات المعبرة

نوع مقياس الجهد	خصائصه
مستدرة مرتفعة	سعة القدرة له اكر من 7W
المسراض عامة	سعة القدرة اقل من 7W
مضبوط مقدما	مقاييس جهد رخيصة الثمن، يمكن أن توجد صغير كسهولة تستعمل ناعرا للضغط
مرتبط الحسولة	مثل النوع السابق ولكنه اعلى دقودته مرتفعة
دقيق	خطي الانحراف عن الخط المستقيم اقل من 0.5% عادة .

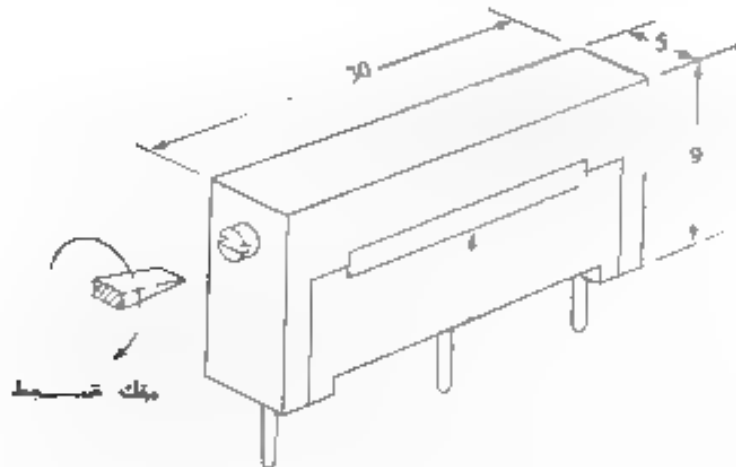
اشكال مسارات مقاييس الجهد : تقع اشكال المسارات المستخدمة في مقاييس الجهد في ثلاثة تشكيلات عريضة هي :

[أ] مستقيمة الاضلاع [خطية] .

[ب] على هيئة قوس

[ج] لولبية او متعددة اللفات .

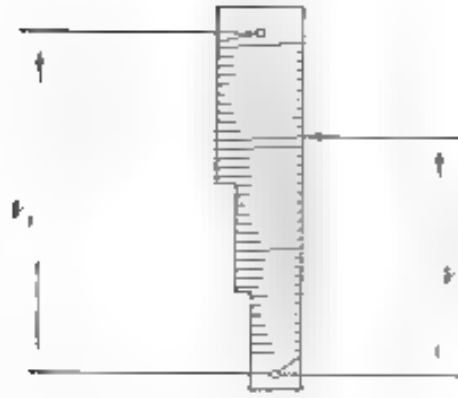
عناصر المقاومة الخطية ، ولها ممرق يتحرك في خط مستقيم على طول العنصر المقاوم . وتشمل التطبيقات المتعددة لمثل هذا النوع من بعض الماومات الصغيرة ذات القدرة المرتفعة والمستخدمه في الاغراض المعايه وكذلك اغراض التحكم في اجهزه hi-fi ومعديت الاستديو ولايكنية التحكم الدقيق في وضع الممرق . يصبح دليل بارر للمفك مع الجزء المتحرك بينما يعشق الممرق ميكانيكيا مع ترس يحمي السرعة . ويوضح شكل ٢ - ٧ ، مثلا لهذا النوع اسباق ، على صورة مقاوم خطي مرتب الحبله ومناسب للاستعمال ضمن لوحه من الدوائر المطبوعه . والاعمال المبيه بالمثل كل هي بالمليقرات وسعة مثل هذه الوحدة يكون بين $0.5 - 0.75 \text{ W}$.



شكل ٢ - ٧ حبله مقاسم خطي مرتب الحبله (العمل بالمليقرات)

في بعض التطبيقات ، مثل تنعيم تيار المحال للمحركات الكهربائية ، تكون المقاومة متدرجة لتعطي مقاومة لا تنعيم بانتظام مع الطول . وبين الشكل ٢ - ٨ احدى انواع مقاييس الجهد المتدرجة الخطية .

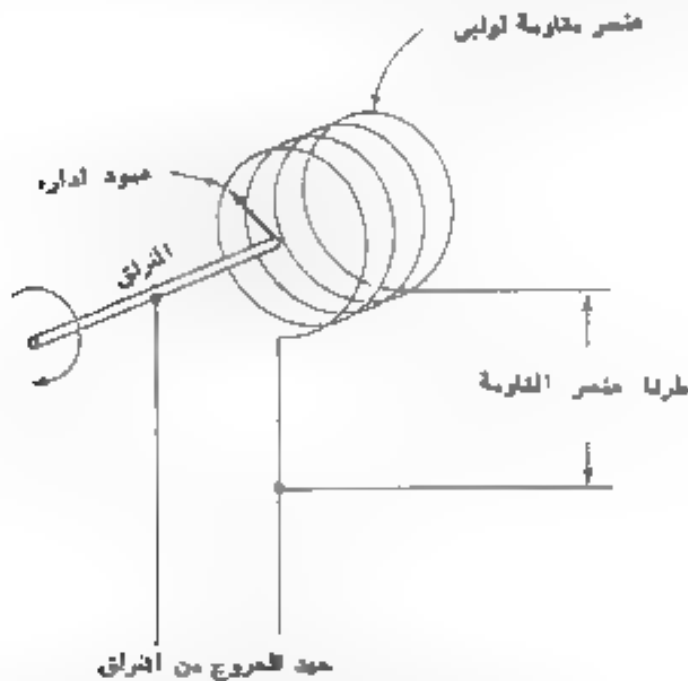
وتصنع مقاييس الجهد ذات اللفة الواحدة والترى شكل مسارها على هيئة القوس لجميع الاغراض ابتداء من النوع المستخدم للقوة الكبيرة حتى ذلك النوع المستخدم في الاغراض الدقيقة . والاعتماد على لفة واحدة لا يؤدي الى ترحة كافية من الدقة ، حيث ان راوية المحوران تكون



شكل ٢ - ٨ مقياس الجهد المخرج الفضي

في العادة من 330° — 300° ولا تصل الى 360° كامله وفي الحقيقة ، تدمو انحاحه ، بالنسبة لبعض الامراض التطبيقية بالعه الحصص الى مقياس جهد بزاوية دوران مقدارها 360° . مع بعض أنواع الحسبات الالكترونية ، مثلاً ، تستخدم مولدات للداله الحسبه ، حيث توحد علاقته بين خرج الجهد وبين جيب أو حيب تمام زاوية دوران عمود الادارة .

ويأخذ الجزء المقوم من مقاييس الجهد دوام المسار اللولبي [أو متعدد اللفات] شكلاً لولبياً متعدد اللفات . ويوضح شكل ٢ - ٩ فكرة مقياس الجهد لولبي المسار الذي يعطى ما يكافئ زاوية دوران مقدارها 3600° اذا ما احتوى عشر لفات . ومن الممكن ادارة عمود الادارة بواسطة آلة تروس ملبسه ، بينها يمكن تحديد وضع المزلق بأرقام يمكن قراءتها من طريق مؤشر يتحرك ميكانيكياً .



شكل ٢ - ٩ التركيب الاساسي لمقياس الجهد لولبي المسار .

أنواع العناصر المستخدمة في مقياس الجهد : يمكن القول بصورة عامة ،
أن أكثر أنواع عناصر المقاومة شيوعا هي :

[أ] الكربون

[ب] السيرميت

[ج] البلاستيك الموصل

[د] السلك الملفوف

تنقسم عناصر المقاومة المستخدمة في مقياس الجهد إلى نوعين هما ،
المسار العنثائي والمسار المشكل . ويتكون النوع الأول من لآكبه الكربون
الراتنجي الذي يتم رشه على قاعدة عازلة . أما النوع الثاني فيصنع بتشكيل
مسار الكربون الراتنجي على السباح من داخل هيكل مقياس الجهد .
وتستخدم مقياس الجهد الكربونية في أكثر التطبيقات التي تدعو الحاجة
إليها في الأغراض العامة وكذلك في استعمالات مقياس الجهد التي تم
ضبطها مقدما .

مقياس الجهد السيرميتية . يتيح هذا النوع بتصنيع عشاء سمك من المادة
المقاومة فوق قاعدة السطح العازل (انظر شكل ٢ - ١) . وحيث أن هذا
العشاء متصل بآته يكتب المادة صلابة دائمة ويسمح بالتشغيل عند
درجات الحرارة المرتفعة . ويمثل مقياس الجهد المتظية المحمولة ، من النوع
الدوراني ، والنوع الخطي ، معظم تطبيقات مثل هذا النوع من المواد .

البلاستيك الموصل . ويتخذ مثل هذا النوع مسارا من خصائص الكربون
الدقيقة التي يتم توزيعها بانتظام على مادة راتنجية تصل عند التسخين
ويكتسب المسار الناتج صلابة دائمة ويريدده مدة التشغيل عن المادة المتومعة
في كافة الأنواع الأخرى . في المادة من 10 إلى 50 مرة () . ويمثل
الحاصيه الأخيرة أهم الظواهر البارزة لمثل هذا النوع من مقياس الجهد .
ويمثل قبه مقاومه التماس بين المرق والمقاوم للارتفاع مما يؤدي إلى الحد
من قيمة الفشار الذي يمكن استخراجه من المرق . ويقتصر عنصر البلاستيك
الرطوبة مما يؤدي إلى تعيرات في قيمة المقاومة لا تعدى نسبها حوالى
7%

هذا وتوجد مقياس الجهد ذوات السلك الملفوف من جميع الأنواع ابتداء
من تلك التي تتصف بالدقة حتى تلك الأنواع المستحقة في أغراض القوى
ويصنع إما على أشكال خطية أو دورانية ومن له واحدة أو حتى سبع لفات .

٢ - ٥ المقاومات الحرارية [الترمستور]

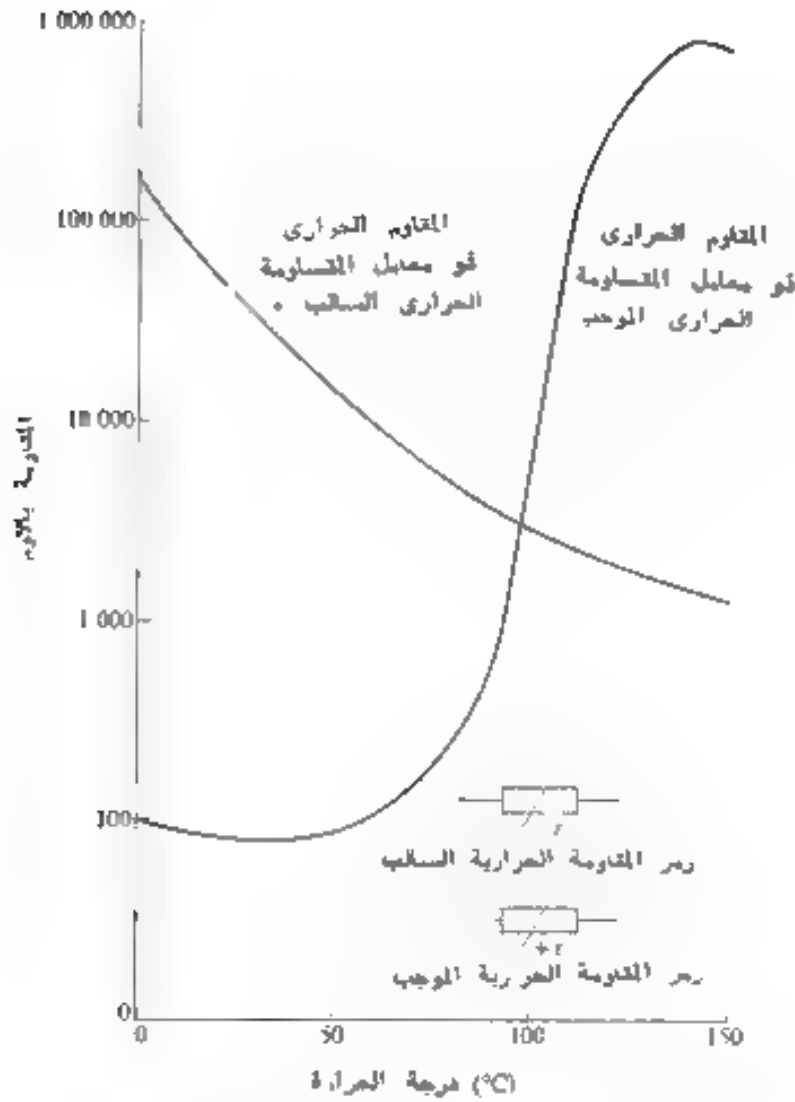
المقاوم الحرارى هو مقاوم حساس للحرارة تتميز مقاومته مع درجة الحرارة . ويستخدم مواعا من هذا المقاوم الحرارى هما المقاوم ذو معامل المقاومة الحرارى السالب ، والذي تقل مقاومته مع ازدياد درجة الحرارة ، والاخر ذو معامل المقاومة الحرارى الموجب ، والذي تزيد مقاومته مع ازدياد درجة الحرارة .

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى السالب (N.T.C.)

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى السالب هي معدات اشياء الموصلات الدائمه التى نرصد خاصية توصيلها مع ارتفاع درجة الحرارة [او تقل مقاومتها مع ارتفاع درجة الحرارة] ، كما اوضحنا فى الباب الاول . ويوضح الشكل ٢ - ١ جزءا من منحى العلاقة التى تربط المقاومة بدرجة الحرارة لواحد من الاجهزة المستعدة ذات معامل المقاومة الحرارى السالب . ونأخذ درجات الحرارة ، التى يتم تشغيل هذه هذه المعدات عليها ، مدى يبدأ من 80°C - الى 400°C + بالتقريب . وتشتمل هذه المعدات فى اجهزة القياس ومحولات الطاقة الصغيرة المستخدمة لقياس الحرارة ، وعلى سبيل المثال تستخدم كمصدر حساس للحرارة لقياس درجة حرارة الماء بالنسبة لحركات السيارات . وتشمل بعض التطبيقات الاخرى قياس معدل سريان الموائع وكثافات مستوى السوائل ، الخ ... كما تستخدم فى التطبيقات الالكترونيه بكثرة وعلى سبيل المثال المضخات ودوائر الاتصالات واجهزة قياس القوى ذات الدقبات العالية ... الخ .

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى الموجب : (P.T.C.)

تمتلك بعض اشياء الموصلات خواص مشابهة لتلك التى يصر عنها المنحنى الايس فى شكل [٢ - ١] وتسمى المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى الموجب . وعندما ترتفع درجة الحرارة من 50°C الى 150°C فإن هذا المنحنى يوضح تزايدا مفاجئا فى قيمة المقاومة . ونظرا لهذا التغير السريع فى قيمة المقاومة عبر هذا المدى القصير [نسبيا] من درجات الحرارة فان هذا النوع من المقاومات يسمى « المقاوم الحرارى اللحظى ذا معامل المقاومة الحرارى الموجب » .



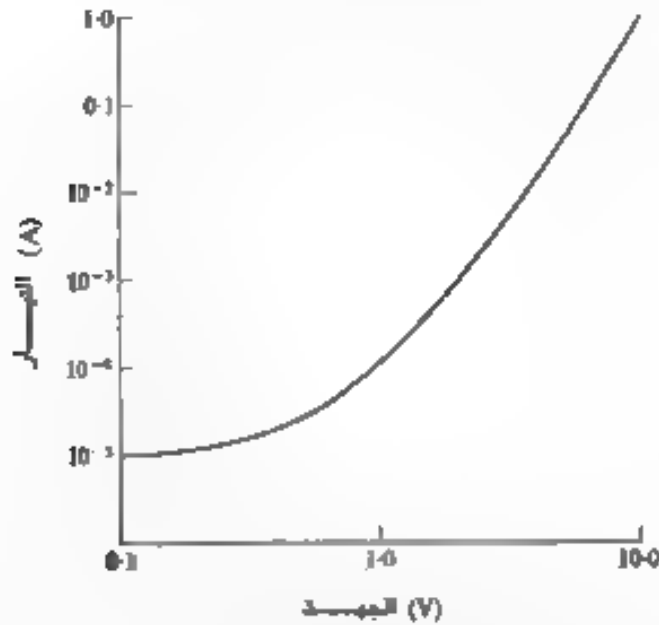
شكل ٢ - ١. المنحنيات المميزة للمقاوم الحراري

يشيع استعمال المقاوم الحراري اللحظي ذي معامل المقاومة الحراري الموجب في الدوائر الإلكترونية عندما يراد وقف المعطسية بالنسبة لصيحات التيمريون اللون ، فلكي يمكن المحافظة على تسهيل اللون الصحيح ، يتحتم أن تتكرر مدرجة معسولة عمليات محو المعطسية من الصمام . وأنسب وقت للقيام بهذه العملية هو عند بدء تشغيل جهاز الاستقبال . وهكذا يوصل المقاوم الحراري ذو معامل المقاومة الحراري الموجب على التوالي مع ملفات محو المعطسية من الصمام ونظرا لبرودة المقاوم الحراري عند بدء تشغيل جهاز الاستقبال ، فإن مقاومته تكون منخفضة ، وبناء على ذلك يسحب تيار كبير ذو قيمة كبيرة في دوائر الملفات والمقاوم الحراري وبسبب الحرارة المولدة عن هذا التيار يصل المقاوم الحراري إلى « درجة الحرارة الفاصلة » ، عندما تصل قيمة المقاومة لقيمتها المعطية في هذه اللحظة ويؤدي هذا إلى سرعة تقصير قيمة التيار المار في ملفات محو المعطسية

وهو التأثير المرعوب بالنسبة لصمام التلغزيون وتستخدم المقاومات الحرارية اللحظية دوات معادل المقاومة الحرارية الموجب ايضاً ويكثر في دوائر وقاية المحرك الكهربائي من زيادة الحمل .

٢ - ٦ المقاومات تابعة الجهد

المقاومات تابعة الجهد هي اجهزة تقل مقاومتها مع ازدياد الجهد المؤثر على اطرافها ، ويوضح الشكل ٢ - ١١ العلاقة التي تربط كلا من الجهد والتيار لنوع شتيع من مثل هذه المقاومات . ويطلق ايضاً اسم « الفريستور » باللغة الانجليزية على مثل هذا النوع من المقاومات .



شكل ٢ - ١١ العلاقة بين الجهد والتيار للمقاوم تابع الجهد (الفريستور)

ومن المعتاد تصنيع هذه الاجهزة من كربيد السليكون وتستخدم أساساً في مجال وقاية المعدات الكهربائية من الارتفاع المفاجيء في الضغط . توصل المقاومة تابعة الجهد على التوازي مع الجهاز المراد وقايته وعندما يحدث أي ارتفاع مفاجيء للضغط بين طرفي الجهاز ، على مقاومة الفريستور تقل لحظياً وبذلك تمتص جزءاً من الطاقة المباشرة فتتكسر حلقها .

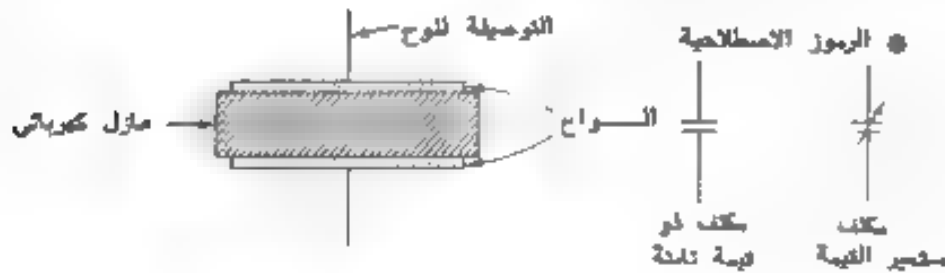
الفصل الثالث

المكثفات

المكثفات هي اسطة لعيها القدرة على تخزين الطاقة الكهربائية ، وهي ذات أهمية حيوية بالنسبة للدوائر الإلكترونية . وتشمل الخصائص الأخرى للمكثفات قدرتها على تغيير زاوية الطور بين التيار والجهد في دوائر التيار المتردد [انظر الفصل السادس] ، وحقيقة أخرى هي أن قيم مفاعلات المكثفات تتغير مع تغير تردد المصدر .

٣ - ١ فكرة عمل المكثف

يتكون المكثف من موصلين يعرف كل منهما باللوحة المعدنية أو الأقطاب ويوجد بينهما وسط عازل باسم « العازل الكهربائي » ويوضح الشكل ٣ - ١ التركيب الأساسي للمكثف ذي اللوحين المتوازيين . فالمادة العازلة تحتفظ بالطاقة الكهربائية المخزنة في المكثف . وتستخدم مواد عازلة منها : الهواء ، والورق المشرب ، ومواد من البلاستيك ، والميكا ، ومواد من السيراميك .



شكل ٣ - ١ مكثف بسيط مكون من لوحين متوازيين

سنصف فيما يلي ميكانيكية تخزين الشحنة . فمن الممكن من وجهة النظر الإلكترونية اعتبار أن جزيئات المادة العازلة مكثفة لتضيق صغيرة

مستغطة واتما فوات « أقطاب كهربائية » موجبة وسالبة معندما يكون المكثف مفردا تطل « أقطاب » الجزئيات بملغول بعضها البعض حيث تشملهم الطاقة المحزنة في المكثف . فاداً ما سلط جهد ثابت بين لوحى المكثف ، تنتظم الجزئيات في نفس اتجاه المجال الكهربى متأثر القوة الكهربائية الماثنة .

وفى التو ، يتواجد عجز في الالكترونات باللوح الموصل للقطب الموجب بينما يحتوى اللوح الموصل بالقطب السلب على فائض من الالكترونات . فاداً تم فصل مصدر الجهد تستمر تفاعلية جزئيات المادة العازلة وتحترق الطاقة في العازل الكهربى .

ويلاحظ أنه من الممكن قياس فرق الجهد بين طرفى المكثف بعد فصله عن مصدر الجهد . ويستمر فرق الجهد هذا لمدة من الزمن تحفظ من مدة دقائق الى عدة أيام طبقا لقيمة المقاومة التسريبية للعازل . ويقل فرق الجهد بمعدل في غلية البطء اذا ما ارتفعت قيمة المقاومة التسريبية ، وتسمح القيمة المنخفضة للمقاومة التسريبية للشحنة بالتسرب بمعدل أسرع .

عند التعامل مع الدوائر الالكترونية ، ينبغي التأكد ان المكثفات كبيرة السعة قد امتزجت تملها ، والا اصبح من المحتمل التعرض لصدمة كهربائية نتجة للشحنة المخزنة . ومن الممكن تقريبع المكثفات بأمان بلى توصيل مقاومة مقادارها حوالى 1k بين طرفى المكثف لمدة قصيرة . كما يجب ان يتأكد مهندسو الصيانة ، عند استبدال المكثفات التالفة ، ان جهد التشغيل للمكثفات البديلة صحيح ، ذلك انه يوجد احتمال لانفجار هذه المكثفات البديلة ، اذا تم تشغيلها على قيم اعلى من جهدها المقنن بسبب احتمال تولد بعض الخفرات من داخل المكثف .

٢ - ٢ وحدات السعة الكهربائية

تعرف قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربائية بالسعة الكهربائية او السعة ، ويرمز لها بالرمز C . والفاراد هو وحدة السعة ويرمز له بالحرف F وتقدر سعة المكثف بالعلاقة التالية

$$\text{السعة بالفاراد} = \frac{\text{الشحنة المخزونة [بالكولوم]}}{\text{فرق الجهد بين الالواح [بالفولت]}}$$

او

$$C = \frac{Q}{V} \text{ farads (F)}$$

إذا كانت قيمة فرق الجهد بين طرفي المكثف 10 V عندما كانت الشحنة المخزنة 100 ميكرو كولوم ، فإن

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{100 \times 10^{-6}}{10} = 10 \times 10^{-6} \text{ F} = 10 \mu\text{F}$$

وحيث أن الفاراد يعتبر وحدة كبيرة جداً للسعة لذا تستعمل وحدات الميكروفاراد (μF) والنانوفاراد (nF) والبيكوفاراد (pF) في التطبيقات العملية علماً بأن

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} = 1000 \text{ nF} = 1\,000\,000 \text{ pF}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} = 0.001 \mu\text{F} = 1000 \text{ pF}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} = 10^{-6} \mu\text{F} = 0.001 \text{ nF}$$

هذا وتقل قيم السعة لمعظم المكثفات المستخدمة من $0.01 \mu\text{F}$ بينما يستخدم عدد قليل من المكثفات بقيم كبيرة جداً [تصل إلى حوالي $10000 \mu\text{F}$] في المراسن القوى الكهربائية وشبكتها .

٣ - ٣ سماحية المواد العازلة

عند تسليط فرق جهد بين طرفي المكثف يتكون فيض كهربى في العازل . وسماحية العازل تناظر الموصلية بالنسبة للموصل الكهربى . فعند فرق جهد معين يستبدل عازل المكثف بأخر ذو سماحية أكبر ، فإن الفيض الكهربى في العازل يزداد لنفس فرق الجهد . أفن ، باستعمال عازل له سماحية أكبر نحصل على سعة أكبر لكل وحدة حجم . ويستخدم لرمز ϵ [وهو رمز يونانى ينطق إبسلون] للسماحية ووحدة تقدر بالفاراد لكل متر . وفي التطبيق العملى ، يكون من المناسب الرجوع إلى السماحية النسبية ورمزها ϵ_r . وهى نسبة بين سماحية المادة وسماحية الفراغ ، حيث .

سماحية العازل

$$\frac{\text{السماحية النسبية}}{\text{سماحية الفراغ}} = \epsilon_r$$

إذا كانت ϵ_r تساوى خمسة مثلاً ، فإن سماحية المكثف المستعمل لعازل ما تبلغ خمسة أضعاف سماحية المكثف المكافئ الذى يستعمل الفراغ كعازل له . وإذا تبلغ قيمة السماحية النسبية للهواء مقدار 1.005 ، فله من الممكن أن نحسب كواحد لكل الأغراض العملية . وتقع السماحية النسبية لمعظم العوازل العلية والزيوت العازلة في المدى ما بين $2 - 8$ ، ونبها على قيمة مخطرة لبعض العوازل

المساحة	المادة
1-0005	الهواء
2-2.5	الورق (الجاف)
2.5	فريت بوليسترين
3-7	بسيكا
4-6	ورق مطرب
6-100	خشب
1500-3000	حزق [ϵ كبيرة]

وتمثل القيمة المطلقة أو القيمة الفعلية للمساحة لاي مادة بالنصير
الانى :

$$\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r \text{ F/m}$$

٢ - ٤ سعة المكثفات متوازية الالواح

نحسب سعة المكثف دى اللوحين المتوازيين الموضح فى شكل ٢ - ١

$$\text{السعة} = C = \frac{\epsilon a}{d} \text{ فاراد}$$

$$F = \frac{8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r a}{d}$$

صت

a = مساحة جانب واحد لكل لوح بالمر المربع

d = سمك العازل بالمر

ϵ_r = المساحية النسبية للعازل

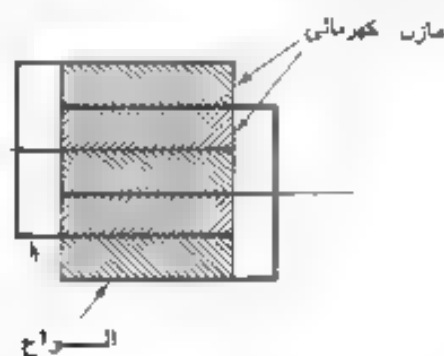
وهكذا ، اذا كانت $a = 0.05 \text{ m}^2$ و $d = 0.0005 \text{ m}$ و $\epsilon_r = 5$ ، اذن :

$$C = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0.05}{0.0005} = 4.425 \times 10^{-9} \text{ F} = 4.425 \text{ nF}$$

ونعتبر المعادلة السابقة هامة لانها توضح العلاقة بين الحجم الطبقي للمكثف والمساحية النسبية والسعة . فهى توضح مثلا ان سعة المكثف تتضاعف بمضاعفة المساحة الفعلية للالواح . وعلاوة على ذلك نعتبر النسبة ϵ_r/d هامة ايضا حيث تزداد السعة بمضاعفة هذه النسبة . فمثلا ، بينما قيمة ϵ_r للميكا تكون مرتفعة نسبيا ، فانه يوجد حد ادنى للسمك الذى يمكن ان يطلق منها ، وعلى هذا تحدد القيمة القصوى للنسبة ϵ_r/d .

بالقيمة الحدية الأدنى سمك من مادة العازل . ومن ناحية أخرى نجد أنه ،
 بينما تكون قيمة ϵ_r لشريط البوليسيرين محدودة ، فإنه من الممكن
 تصنيعها على شكل أغشية رقيقة لتعطى قيمة مرتفعة للمساحة ϵ_r/d

ويوضح شكل ٢ - ٣ تركيبه الألواح المتعددة وهي تركيبة شائعة وفي
 هذه الحالة ، يحتوى المكثف على ستة ألواح وحصة عوارل . وعلى هذا ،
 إذا احتوى المكثف على N لوح فهو يحتوى على $(N - 1)$ عازل .



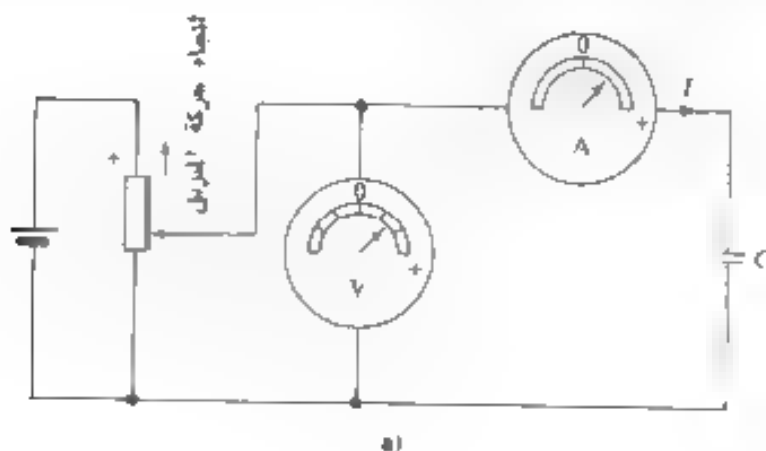
شكل ٢ - ٣ مكثف متكرر الألواح

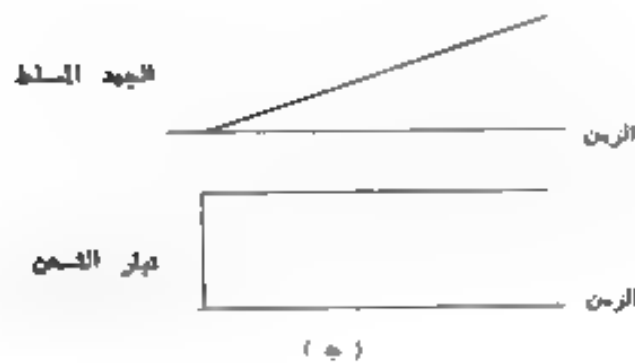
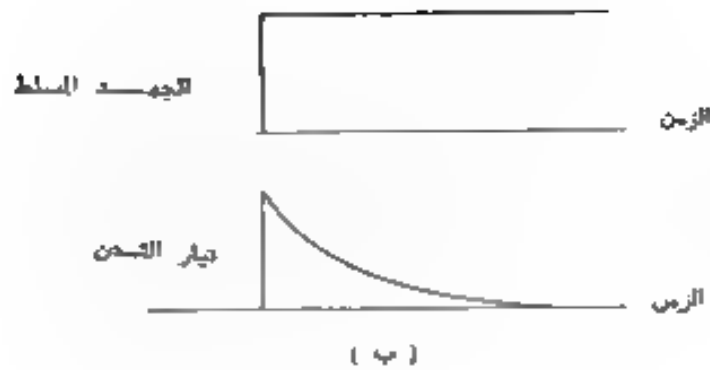
وحيث أن الشحنة تتركز في المادة العازلة ، فإن سعة هذا المكثف المتكرر
 الألواح تبلغ خمسة أضعاف سعة المكثف المحوى على لوحين فقط . وتعطى
 سعة هذا النوع من المكثفات بالمعادلة الآتية :

$$C = \frac{5(N-1)a}{d} = \frac{885 \times 10^{-12} \epsilon_r (N-1)a}{d} \text{ F}$$

٢ - ٥ تيار الشحن والتفريغ

لننظر أن المكثف C الموضح في شكل ٣ - ٣ [١] كان مغلفاً عند
 بدء التشغيل ، وأن مترق بمقاس الجهد أخذ الوضع الأسفل من مسار ،
 وبمعنى آخر لا يوجد أى جهد مسلط بين طرفيه .





شكل ٢ - ٢

(أ) التيار المتناسب في المكثف أثناء فترة الشحن . الإنشكال الموجبة التيار في
(ب) كثافة تفسير معالجته في جهد الدائرة توصي . جـ | كثيفة لمعدل تغير ثلث الجهد الدائرة

فإذا تحرك المرفق اعلى مقياس الجهد اصبح هناك جهد موجب بسيط على اللوح العلوي للمكثف ، مما يؤدي الى تعديل مدارات الالكترونات في حيزيات العازل لتصبح على شكل قطع ناقص بحيث تقترب مداراتها من اللوح العلوي [الموجب] للمكثف . وتؤدي حركة الالكترونات في المادة العازلة لتغير الالكترونات بعيدا عن اللوح العلوي ولكن خلال الدائرة الخارجيه وتكون هذه الالكترونات في الدائرة الخارجيه سريانا للتيار في الدائرة وفترة الشحن للمكثف ما هي الا فترة الزمن التي تسمح فيها مدارات الالكترونات ، وفي خلال هذه الفترة من الزمن ، يمكن ان يلاحظ تيار الشحن في الدائرة الخارجيه ويستطيع القارئ تذكر ان الاتجاه التقليدي لتسلسل التيار هو عكس اتجاه سريان الالكترونات ، وبذلك يتسلسل التيار أثناء فترة الشحن في اتجاه اللوح العلوي للمكثف .

إذا تغيرت قيمة الجهد المسلط من الصفر الى قيمة اكبر بطريقة مفاجئة كما في شكل ٢ - ٣ (ب) تزداد قيمة تيار الشحن فجأة لقيمة لاتحدها الا مقاومة الدائرة فقط ، وبعدها تضبط قيمته الى الصفر . يوصف الشكل

الموجي لتيار الشحن بالمحني الاسي ، وستذكر تفاصيل أخرى من الشكل الموجي لتيار الشحن في الجزء ٣ - ١٢ .

فإذا تزايد الجهد المسلط على المكثف بمعدل ثابت سيحتم أن المتحرك يتحرك على مقياس الجهد بمعدل ثابت، فإن تيار الشحن يتحد قيمة ثابتة ، كما هو موضح في الشكل . وكلما تزايد الجهد المسلط بسرعة أكبر [مما يلاحظ أمصاد الحط العياني للجهد ميلا حاداً] كلما ازدادت قيمة سار الشحن ، وتمسح العلاقة بين قيمة تيار الشحن I في حالة شكل ٣ - ٢ [ج] ومعدل تغير الجهد المسلط بين طرفي المكثف كالآتي :

$$I = C \times \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

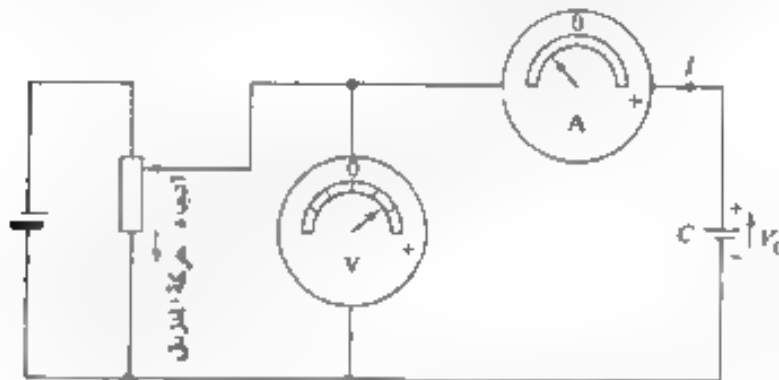
$$= C \frac{dV}{dt} \text{ A}$$

حيث dV/dt هي طريقة مختصرة للتعبير عن معدل تغير الجهد بالنسبة للزمن . فإذا زاد الجهد المسلط ، بين طرفي مكثف سعته بمعدل ثابت مقداره 1000 V/s فإن قيمة تيار الشحن تطلع

$$I = 10^{-6} \times 1000 = 1000/1\ 000\ 000 = 1/1000 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

وقد يبدو من الوهلة الأولى أن معدل تغير الجهد المعطى في المثال السابق ذا قيمة عالية ، وفي الحقيقة من الممكن أن نتعامل مع قيم أكثر بكثير من 100 V/s في عديد من الدوائر الإلكترونية .

تفريغ المكثف بين شكل ٣ - ٤ حالة تشغيل المكثف في خلال الفترة الزمنية التي يتم خلالها تفريغه . ففي هذه الحالة تقل قيمة الجهد V ، المأخوذ بين طرفي المرق والارض ، عن قيمة الجهد بين طرفي المكثف ، وبالتالي فإن سار التفريغ يتسبب حارحاً من اللوح العلوي [الموجب] للمكثف عندها يتحرك المزلق إلى أسفل مقياس الجهد ويقوم المكثف بتفريغ طاقته في الجزء السفلي من مقياس الجهد خلال هذه الفترة الزمنية .



شكل ٣ - ٤ : انسياب التيار في الدائرة المسبوقة خلال فترة التفريغ

وكما عرض سابقا ، ماذا تعبر قيمة V بطريقتة مخالفة من قيمة الى اخرى [بالتنبؤ من هذه الحالة] يؤدي الى تيار تفريغ متنبئ من النوع الموضح في شكل ٣ - ٣ [ب] . ماذا تم بحرك متعلق بقياس الجهد الى اسفل بمعدل ثابت ، فان تيار الشحن تكون ثابتة .

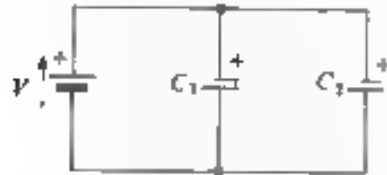
٣ - ٦ توصيل المكثفات على التوازي

عند توصيل مكثفين على التوازي مع مصدر مشترك للجهد V [انظر شكل ٣ - ٥] ، منه نتيجة لما سبق عرضه في الفصل ٣ - ٢ ، نكتسب الشحنة Q_1 المخزنة في المكثف C_1 ما قيمته

$$Q_1 = C_1 V$$

ونكتسب الشحنة Q_2 المخزنة في المكثف C_2 ما قيمته

$$Q_2 = C_2 V$$



شكل ٣ - ٥ توصيل المكثفات على التوازي

ماذا افترضنا انه من المطلوب احلال مكثف واحد بسعته C بدلا من مكثفي مجموعة التوازي ، بحيث يحترن هذا المكثف نفس الشحنة الكلية ($Q_1 + Q_2$) عند توصيله بالمصدر V ، فل

$$Q = CV = Q_1 + Q_2 = C_1 V + C_2 V$$

او

$$CV = V(C_1 + C_2)$$

وهكذا

$$C = C_1 + C_2$$

اذا ، قيمة السعة المكافئة من توصيل عدة مكثفات على التوازي تساوي المجموع الكلي لسعات المكثفات المفردة . ويؤدي توصيل عدة مكثفات على التوازي الى ان تزيد السعة المكافئة عن سعة اكرم مكثف مفرد في الدائرة .

اذا وصل عدد n من المكثفات على التوازي ، فان المعادلة التي تعطى فيه السعة المكافئة C هي

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

مثال ٣ - ١ . اذا وصلت المكثفات ذات السعات $1 \mu F$, $1 nF$, $1 pF$ أعلى التوازي احسب السعة المكافئة لهذه المجموعة بالتقويراد .

الحل

$$1 \mu F = 1000 nF$$

$$1 pF = 0.001 nF$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1000 + 1 + 0.001 nF = 1001.001 nF$$

٣ - ٧ توصيل المكثفات على التوالي

يبين شكل ٣ - ٦ مكثفين متصلين على التوالي . وحيث أن نفس تيار الشحن ينساب خلال كل من المكثفين لنفس الفترة الزمنية



شكل ٣ - ٦ مكثفات متصلة على التوالي

فإن كل مكثف منهما يقوم باحتران نفس الكمية الكهربائية . فإذا كانت الكمية الكهربائية هي Q فإن

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2$$

وحيث أن C_1 و C_2 هما سعة هذين المكثفين بينما V_1 و V_2 هما فرق الجهد بين أطراف المكثفين على الترتيب . فاستخدام العلاقة السابقة نحصل على

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ و } V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V = V_1 + V_2 \quad \text{وحيث أن}$$

$$[٣ - ١] \quad V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad \text{إذن}$$

فإذا ما رعبنا في احلال مكثف واحد محل مجموعته المكثفات المتصلة على التوالي ، بحيث يحترن شحنة مقدارها كولوم لنفس فرق الجهد V فولت ، فإن

$$Q = CV$$

أو

$$[٣ - ٢] \quad V = \frac{Q}{C}$$

وبمساواة المعادلات [٣ - ١] و [٣ - ٢] مع بعضهما البعض نحصل على

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

أو

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبمعنى آخر ، في حالة التوصيل على التوالي لعدة مكثفات ، فإن المطلوب السعة المكافئة الناتجة يساوى مجموع المطلوب كل من السمات المختلفة للمكثفات المفردة . ويؤدي توصيل عدة مكثفات على التوالي الى أن تقل السعة المكافئة من سعة أصغر مكثف منفرد في الدائرة .

إذا وصل عدد n من المكثفات على التوالي ، فإن المطلوب قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة التالية

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

مثال ٣ - ٢

وصل مكثفان سعتها و على التوالي في دائرة مكرر الكروني . أوجد قيمة السعة المكافئة للمجموعة مقدره بالفنتوغلراد .

الحل :

$$0.01 \mu F = 10 \text{ nF}$$

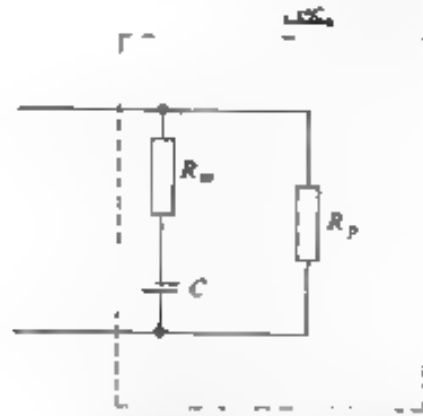
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{1} = 1.1 \text{ (1/nanofarads)}$$

$$C = 1/1.1 = 0.91 \text{ nF} \quad \text{ومن ثم}$$

٣ - ٨ الدائرة المكافئة للمكثف

المكثف هو عنصر دائرة مثالي ، ولا ينمى أن يعبر عن أى خاصية من خواص المقاومة أو الحث [أنظر الفصل الرابع] ولا يتواجد في الحياة الصلبة مثل هذا النوع من الأجهزة المثالية . ولكي نأخذ هذا العيب في الاعتبار فإن إحدى الطرق المشعة تعتبر المكثف كدائرة كهربائية مكافئة وليس كعنصر سموي مثالي .

ويوضح شكل ٢ - ٧ احدى الدوائر المكافئة للمكثف . ويحتوى الدائرة على مجموعة مكثف مثالى C متصل على التوالي مع مقاومة R_m ، بينما وصلت المقاومة R_p على التوازي مع هذه المجموعة . تمثل مقاومة التوالي R_m مقاومة اسلاك التوصيل والالواح ومقاومة التلامس بين اسلاك التوصيل والالواح . وتمثل مقاومة التوازي R_p المقاومة التسريبية التى تعبر عن تسرب التيار خلال المادة العازلة وعلى سطح المكثف .



شكل ٢ - ٧ الدائرة المكافئة للمكثف

وتصنع هذه المقاومات هذا للقيمة القصوى للتردد الممكن لتشغيل المكثف كما تضع خواص المادة العازلة حدودا لقيمة تردد التشغيل العلوى .

وبالإضافة الى ذلك ، فان تصنيع المكثف يؤدي لطهور محاته صغيرة من الممكن ان تحدث مع المكثف دائرة رنين عند تردد مرتفع القيمة (انظر الفصل السادس) .

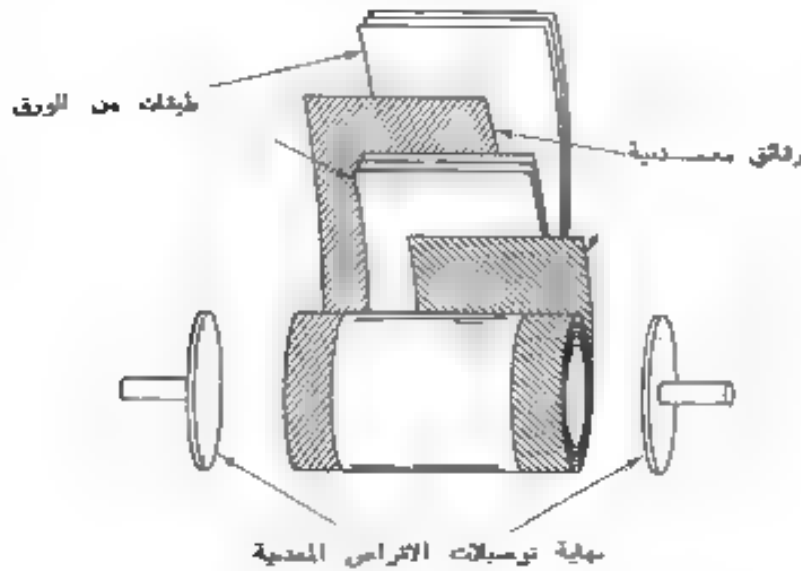
٣ - ٩ أنواع المكثفات

تصنف المكثفات على وجه المصنوع تبعاً لنوع المادة العازلة التى تكون فى العادة من الورق البوليسترن ، الميكا ، الخ . واذ يتغير سعة جميع المكثفات مع القدم ودرجة التشغيل والحرارة ، فان تحديد قيمتها المكنونة يتم باعتبار التشغيل عند الترددات المنخفضة وفى درجة حرارة الحجرة فقط .

المكثفات ذات العازل الهوائى :

تستخدم المكثفات ذات العازل الهوائى اساسيا فى المعامل كسعات قياسية وتتكون المكثفات الهوائية متغيرة السعات من مجموعة الواح ثلثة ومجموعة من الالواح المتغيرة ، بحيث تتغير سعة المكثف كلما تغيرت مساحة الالواح المتداخلة .

المكثفات ذات العزل الورقي : يوضح شكل ٢ - ٨ واحداً من أنواع المكثفات الورقية ، حيث تتكون القطب من رقائق معدنية معرولة بطبقات من الورق المشمع بالزيت أو الشمع أو سبك مصاعف من البلاستيك . ويتم التوصيل بين ألواح المكثف والدائرة الخارجية من تركيبه الشكل المبين عن طريق التلامس بالضغط .



شكل ٢ - ٨ تركيب واحد من أنواع المكثف الورقي المتري

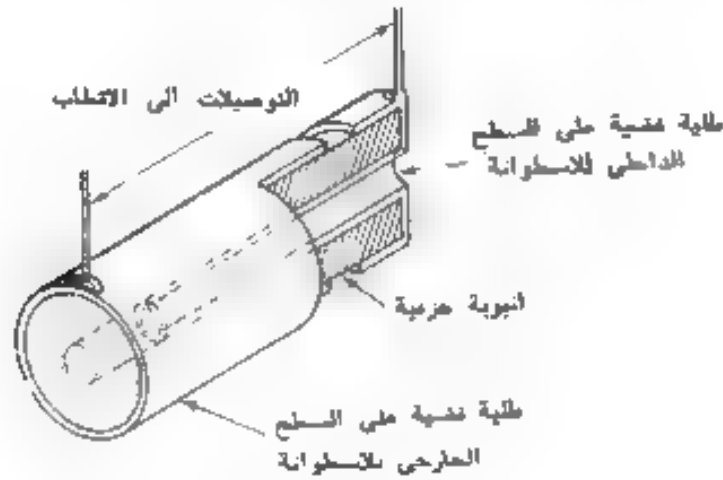
ومن المكثفات المعروفة بالمكثفات ذات الصحائف الورقية المصنوعة من معدن الورق حتى يتلاشى الفراغ الموجود بين الألواح والعازل . وإذا قوربت الحواص الأساسية لهذا النوع بالنسبة للأنواع الأخرى الورقية ، نجد أن هذا النوع يتميز بصغر الحجم ومقدرته على أن يبدأ ذاتياً ليصبح صالحاً مرة أخرى بعد حدوث أي انهيار . ففي حالة حدوث ثقب بالورق إذا ما سلط جهد عابر مرتفع بين طرفي المكثف فسرعان ما يتنخر المعدن من منطقة الثقب لينبع وتوقع أي قصر كهربائي في الدائرة .

المكثفات ذات غشاء (film) البلاستيك العازل . وتستخدم هذه الأنواع أغشية من مادة البلاستيك بدلاً من صفائح الورق ولهذا النوع استعمالات كثيرة في التطبيقات الإلكترونية . ومن الممكن أن يعطى الأسلوب الفني للأصاح مكثفات رخيصة الثمن ويمكن الاعتماد عليها لحد كبير ، وعلى وجه الخصوص ، فإن تركيب هذا النوع يمثل المكثفات الورقية ، وبعض المواد العازلة الشائعة هي السوليسترين ، البوليفر ، الموليكرينوليت ، والموليبرولين .

المكثفات ذات العازل المختلط : وتسمح المكثفات التي تصنع المواد العازلة من أغشية البلاستيك مع الورق المشمع بتصنيع مكثفات صغيرة الحجم تعمل على جهود مرتفعة .

المكثفات ذات عزل الميكا : الميكا هي معدن يمكن ان ينشطر بيسر الى الواح رقيقة متجانسة ذات سمك يقع في المدى من 0.025 mm (0.001 in) الى 0.075 mm (0.003 in) . في التركيب المتراص الطبقات [انظر شكل ٢ - ٢] ، تتداخل الميكا والرقائق المعدنية على هيئة مكثف متعدد الالواح بحيث يتم ربطها كلها لتكون وحدة متماسكة . وكما اتفق مع المكثفات الورقية ، فمن الممكن تجنب الفراغات بين رقائق المعدن والعزل ، ببعدنة احد جوانب الميكا [مكثف الميكا المفضل] .

المكثفات ذات العازل الخزفي : تحتوي هذه المكثفات على طبقة معدنية (عادة فضية) فوق الوجوه المتقابلة لاقراص واقداج وانابيب خزفية . ويبين شكل ٢ - ٣ تركيب احد انواع المكثفات الانبوبية الخزفية حيث يوضح منظر المقطع في الطرف الايمن كيفية عمل التوصية الى الالكترود الداخلي .



شكل ٢ - ٣ مقطع مكثف انبوبي خزفي

ومن الوهمية الاحتمالية ، تنقسم انواع المكثفات الخزفية الى طائفتين هما المكثفات ذات السماحية النسبية المنخفضة القيمة والتي تقع سماحياتها في المدى من 6 الى 100 ، والنوع الثاني للمكثفات ذات السماحية المرتفعة حيث تقع سماحياتها في المدى من 1500 الى 3000 .

وتنصف المكثفات ، التي تستخدم مواد عازلة « منخفضة السماحية » ، بسمات على درجة جيدة من الاستقرار وتستخدم في دوائر الموالمة للمحيطات الالكترونية حتى تستطيع الحفاظ على حصر تردد التذبذبات في نطاق حدود ضيقة . أما بالنسبة للمكثفات التي تستخدم مواد عازلة « مرتفعة السماحية » ، فانها تعطى سعة اكر لكل وحدة حجم عن نظيرتها التي تستخدم مواد عازلة منخفضة السماحية ، ولكنها تتعرض لعمير اكبر مدى في السعة . ويستخدم هذا النوع في مدى واسع من التطبيقات الالكترونية .

المكثفات الالكتروليتيّة : وتتكون العوارل في مثل هذا النوع من المكثفات من غشاء اكسيدى رقيق ثم ترسيبه على واحد من لوحى المكثف او على كليهما ، يسمّى للعشاء لا يتعدى جزءا من المليون من المليمتر . ونتيجة لذلك ، فإن المكثفات الالكتروليتيّة ليست فقط ذات سعة اكبر لكل وحدة حجم بالمقارنة لصيغ الا انواع الاخرى للمكثفات ، انما هي ابغ ارحص انواع المكثفات لكل قيمة وحدة سعوية . ويوازن كل هذه المميزات ، زيادة تيار التسرب في المكثفات .

[خصوصا في مكثفات الالومنيوم الالكتروليتيّة] ، بالإضافة الى التغير الكبير في قيمة السعة [من 20 % الى 50% + وفي بعض الانواع الى 100% +] .

والعالية العظمى من المكثفات الالكتروليتيّة ، هي مكثفات مستقطبة بمعنى ان فرق الجهد بين اطرافها لابد وان يكون صحيح القطبية . فنادا مكثف قطبية البسيطة ، احتل عملها كمكثف ، وقد يمر خلالها تيار كبير ومن المحتمل ان يؤدي ضغط الغاز المتولد في الداخل الى تصدع الوحدة [ويصف شديد في بعض الاحصا !] . ويبين شكل ٣ - ١٠ الاصطلاح المستخدم لادائرة المكثف الالكتروليتي . ويوضح الشكل مكثفا الكتروليتيبا مستقطبا مع بيان القطبية الصحيحة عند تسليط فرق الجهد بين طرفيه .



شكل ٣ - ١٠ اصطلاح دائرة المكثف الكتروليتي المستقطب

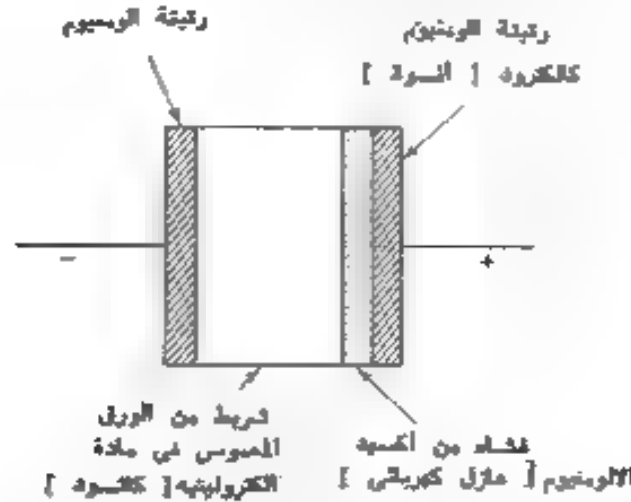
هذا وبالرغم من انه امكن تعطية معادن كثيرة بغشاء اكسيدى الا انه وجد ان الالومنيوم والتنتاليوم يظهران احسن خواص لاستصلات المكثف الكتروليتي . ومنفوضح فيما بعد فكرة عمل المكثفات التي تستعمل هاتين المعادن .

هذا وبعد فترات طويلة من الضمول ، أي اذا تم تخزين هذه المكثفات لعدة اشهر فان المادة الكتروليتيّة تحتاج الى املاء تشكبل [ونقصد بهذا مكثفات الالومنيوم الكتروليتيّة على وجه الخصوص] . وتتم هذه العملية بتسليط الجهد المقنن تدريجيا خلال مقاومة قيمتها 10kΩ حتى ينخفض تيار التسرب الى قيمته المقننة . فاذا لم تتم هذه العملية بهذه الكيفية ، وتم تسليط الجهد الكامل مرة واحدة ، فسوف تنجم مخاطرة احتمال زيادة تيار البدء التسري ، لدرجة تكفى لتوليد ضغط مفرط للفاز داخل المكثف ، مع ما يثلو ذلك من خطورة حدوث انفجار .

مكثفات الألومنيوم الإلكترونية : يوضح شكل [٢ - ١١] التركيب الاساسي لمكثفات الألومنيوم الإلكترونية المستقطبة . يغطي سطح الأنود (القطب الموجب) المكون من رقيقة معدنية بمشاء أكسیدی مكونا للمبازل بسماحية نسبية تتراوح بين 7 - 10 . وتتلامس رقيقة الكاثود (القطب السالب) مع الكثرود الكاثود المعدني المكون من شريط من الورق المعبوس في مادة الكتروليتية مثل بورات الامونيوم . ويشبه التركيب الملبى للمكثفات الأنبوبية ، بصفة عامة ، ما هو موضح في شكل [٢ - ٨] على أن يتم لف الورق المشبع مع رقائق الألومنيوم بشكل اسطوانی .

وتصنع المكثفات الإلكترونية غير المستقطبة بترسيب طبقات الأكسید فوق سطحی الرقيقتين (الأنود والكاثود) للعمل مع مصادر الجهد المستمر أو الجهد المتردد .

وهناك سمة للمكثفات الإلكترونية ، عند الترددات العالية ، تؤدي لأن تبدو وكأنها ملفات محاطة بالنسبة للدائرة الخارجية . ومن الممكن التطلب على هذه الظاهر في بعض الأحيان بتوصيل مكثف بوليكرينونات صغيرة السعة ، مثلا ، على التوازي مع المكثف الإلكتروني .



شكل ٢ - ١١ التركيب الاساسي لكثف الألومنيوم الإلكتروني المستقطب

مكثفات التانتالوم الإلكترونية : يتواجد نوعان من مكثف التانتالوم أحدهما يستخدم الرقائق المعدنية كالكثرود (أقطاب) ، والآخر يستخدم قلب تانتالوم كأنود . ويشبه تركيبه مكثفات رقائق التانتالوم مثلانتها من أنواع مكثفات رقائق الألومنيوم .

ومع أن مكثفات التانتالوم أكثر تكلفة لكل ميكروفراد من مكثفات الألومنيوم الإلكترونية ، إلا أنها أكثر مدهاة للاعتماد عليها بالإضافة إلى أن حجمها الملبى أصغر من نظيراتها من مكثفات الألومنيوم ، مما يؤدي إلى قيمة أصغر لتيار التسرب ، وإمكانية عدم التشغيل (بدون مشكل) بسدة أطول ، بالإضافة إلى قلة تغير الكثافة السمية مع درجة الحرارة من مكثفات أكسيد الألومنيوم .

٣ - ١٠ الرموز الاصطلاحية للالوان والحروف المكثف

ستستخدم مجموعة من الرموز الاصطلاحية للمكثف ، تشمل على نظام يطلق الالوان ونظام ، تدون - نهاية - نقطة . وكما سبق بالنسبة للمقاومات في الجزء ٢ - ٣ . ونعطي نطاقات او نقط اخرى ، بيانات اضافية من الجهد المقتن وعن معامل المكثف الحراري .

وتستخدم الرموز الاصطلاحية ، بصفة عامة ، للمكثفات كما وصفت بالنسبة للمقاومات في الجزء ٢ - ٣ ، مع الاستثناءات التالية . لذ تحدد مواعيد العلامات العشرية ، وقيمة المضاعف العشري ، بالنسبة للمكثفات ، بالحروف الابجدية المميرة التالية .

الحرف	المضاعف
m	$10^{-3} = 1/1000$
μ or c	$10^{-6} = 1/1,000,000$
n	$10^{-9} = 1/1,000,000,000$
p	$10^{-12} = 1/1,000,000,000,000$

وهكذا يكتب 1pF على صورة 1 p0 ويكتب 10 nF على صورة 10 n وبوصف المثال الاتي ايضا استخدام رموز الحروف B S 1852 الخاصة بالتفاوت المسموح به [انظر الجزء ٢ - ٢] .

$$2n2K = 2.2 nF \pm 10\%$$

$$47\mu N = 47 \mu F \pm 30\%$$

٣ - ١١ الثابت الزمني للدائرة السحوية

لقد موقش باختصار في الفصل ٣ - ٥ ، عملية شحن وتفريغ المكثف . وحيث ان المكثف والمقاومة يستخدمان بكثرة في دوائر البصمت الالكترونية وفي دوائر التوقيت فالامر يتطلب التوضيح هنا بمزيد من التفصيل .

يتحدد التوقيت في هذه الدوائر ، بالطريقة التي يتغير بها الجهد بين طرفي المكثف او بين طرفي المقاومة في دائرة تشبه تلك الموضحة في شكل ٣ - ١٢ [١] . هذا ويوجد باراميتير مفيد لمثل هذه الدوائر هو الثابت الزمني ورمزه τ [وهو حرف يوناني يطق تلو] حيث

$$\text{ثابت الدائرة الزمني} = \tau = RC \text{ ثانية}$$

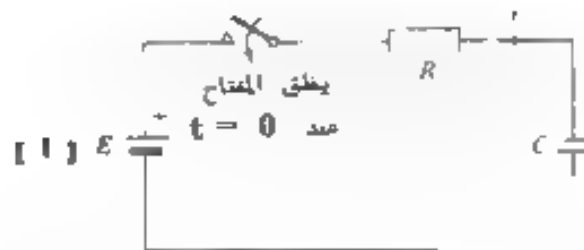
حيث R هي مقاومة الدائرة الموضحة في شكل ٣ - ١٢ [١] بالاموم و C هي سعة المكثف بالفراراد . وكطريقة بديلة فقد يكون من المناسب ان تحسب

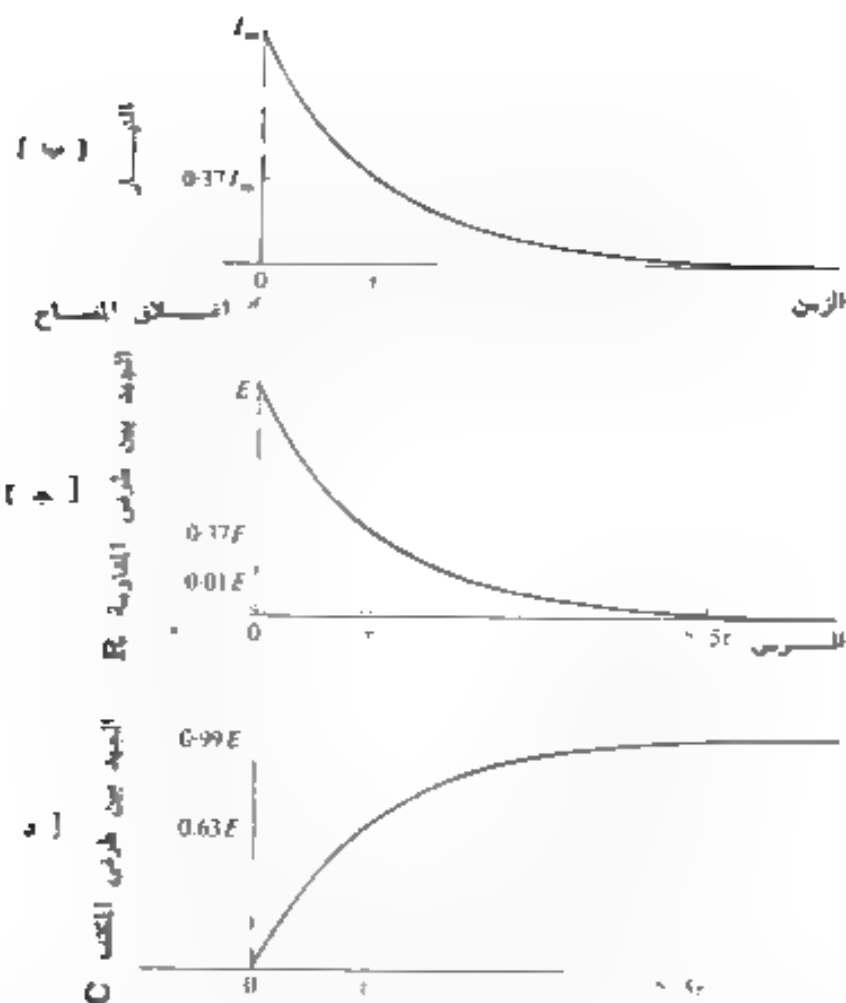
باستخدام قيمة R بالميجا اوم وفيه C بالميكرو فاراد . فإذا كانت
 $R = 470 \text{ k}\Omega$ فإن [حيث $R = 0.47 \text{ M}\Omega$]

$$\tau = RC = 0.47 \times 1.0 = 0.47 \text{ s}$$

ومن الممكن اثبات أن الزمن الذي يستغرقه تيار الشحن للدائرة الموضحة
 في شكل ٣ - ١٢ [١] من أجل أن يصل إلى ٣٧ في المئة من قيمته
 الابتدائية يساوي قيمة τ [لمزيد من التفاصيل ، انظر الفصل الخامس
 من كتاب الإلكترونيات المتقدمة لمؤلفه Noel M. Morris وبنشره
 (Mc Graw Hill)] . ويستغرق ارتفاع التيار الابتدائي زماناً قدره 0.47
 ثانية ، في الحالة السابق عرضها ، لكي يصل إلى 37 في المئة من
 قيمته الابتدائية . ويمكن توضيح الشكل الموجي لكل من الجهد والتيار
 في الدائرة بالشكل [ب] ، [د] ، [د] من الرسم ضد قدره زمنية تعادل
 ثلث الدائرة الزمنى ، يتضح من هذه الأشكال أن قيمة جهد المقاومة ضد
 اصطلح من قيمة تسليوى E إلى قيمة تعادل 37 في المئة من E
 وأن جهد المكثف قد تزايد من الصفر إلى 63 في المئة من E .

وتعرف الفترة الزمنية التي تعبر خلالها الجهود المبينة بالتوصيلات [١]
 و [د] بالفترة العابرة لتشغيل الدائرة . ومن المبدأ بالنسبة لكثير من الدوائر
 أن يستطيع تقدير الصلة الزمنية للمرحلة العابرة . يقال أن المعيرات العابرة
 قد انتهت في الدائرة عندما يصل جهد المقاومة إلى واحد في المئة من
 قيمته الابتدائية وفي الوقت نفسه يصل جهد المكثف إلى 99 في المئة من
 قيمته النهائية . ومن الممكن اثبات [للتفاصيل انظر المرجع الموضح عليه]
 أن المعيرات العابرة يصل من مرة زمنية تعادل حصة اصطف الثابت
 الزمنى ابتداء من لحظة قبل الفتح . وباستخدام القيم المطاة عليه ، على
 المعيرات العابرة تضمحل في زمن قدره





شكل ٢ - ١٢ الثابت الزمني لدائرة التوالي المكثف RC

وعلى نفس الموال - بالنسبة لحالة تفريغ المكثف - حيث يوضح شكل ٢ - ١٢ الدائرة المستخدمة - فإنه لكي يصبح جهد المكثف لواحد من المائة من قيمته الاستوائية يستغرق الأمر أن يكون

$$5\tau = 5RC \quad \times \quad \text{الثابت الزمني} = 5\tau$$

ومن الممكن أن يعرف الثابت الزمني أيضا بدلالة دائرة التفريغ المبينة في شكل ٢ - ١٢ ، على أنه الزمن الذي يستغرقه جهد المكثف لكي يصل إلى ٣٧ من المائة من قيمته الاستوائية . إذا كان المكثف قد تم شحنه بجهد قدره 10V وكان الثابت الزمني لدائرة التفريغ هو 5 ms فإن جهد المكثف يصبح إلى 3.7V $= 0.37 \times 10$ في زمن قدره 5 ms ويصبح جهد المكثف ابتداء من لحظة التفريغ إلى واحد من المائة من 10 V $= 0.1V$ في زمن قدره 5 τ أو 25 ms .



شكل ٣ - ١٢ ثابت التفريغ الرطبي المكلف

٣ - ١٢ الأسلوب الفني للتشكيل الموجي - المفاضلات والمكملات

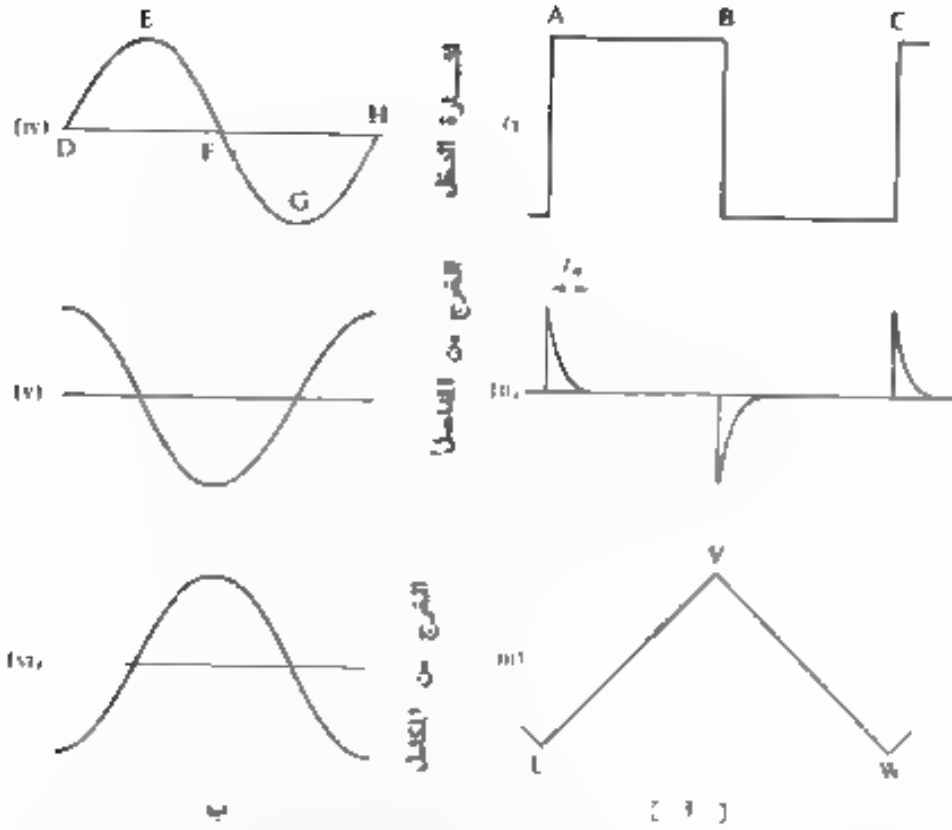
يستلزم الأمر في كثير من التطبيقات أن نقوم بتصميم هيئة الإشكال الموجية التي يتسنى استخدامها لإداء أغراض أخرى . لنفترض ، على سبيل المثال ، الإشارات المولدة في أجهزة استقبال التلفزيون ، والتي يضمن عملها حرية من الإلكترونات في أسبوبة الأشعة الكاثودية [انظر الفصل السادس عشر أيضا] . لرسم مخططا فوق وجه الأنبوبة . وحتى يمكن الحصول على نقطة تقارب صحيحة فوق وجه الأنبوبة ، نجد أنه إذا يلزم أن تكون ترددات الإشارة الموجودة ، في الأحوال العادية ، مطلقة ، إلا أن شكلها الموجي يجب أن لا يكون مطلقا لها . وفي مثل هذه التطبيقات ، نستخدم دوائر التشكيل الموجي في التلفزيون الملون لكي تؤدي إلى التقارب الصحيح

ونعرف الأنواع الأساسية لدوائر التشكيل الموجي بدوائر التفاضل ودوائر التكامل ، وتظهر هذه الأسماء نتيجة للعمليات الرياضية من تفاضل وتكامل على الترتيب . وبصفة مؤقتة ، يمكن اعتبار هذه الدوائر كأنها داخل « صناديق سوداء » الكترونية ، ولها طرفا دخل وطرفا خرج . وتجري هذه الصناديق [الدوائر] العمليات التالية :

[أ] **المفاضل** : تتناسب القيمة اللحظية لسعة خرج الموجة من المفاضل مع معدل تغير سعة موجة الدخل .

[ب] **التكامل** : تتناسب القيمة اللحظية لمعدل تغير سعة موجة الخرج للتكامل مع سعة موجة الدخل .

ويوضح شكل [٣ - ١٤] الكيفية التي تعدل بها هذه الدوائر من شكلين موجيين بتواجدان بكثرة في مجال الإلكترونيات . ويعرف الشكل المبين في شكل ٣ - ١٤ [١] ، بالموجة المربعة أو المستطيلة نظرا لطبيعة شكلها ، وتتواجد على وجه العموم في دوائر الفصل الإلكترونية حيث تتغير قيمة إشارة الجهد بين مستويين بسرعة .



شكل ٢ - ١٤ شكل موجات الدخل والخرج من دوائر المفصل والمكامل أ موجة دخل مربعة ب أ موجة دخل حصة

لنأخذ في الاعتبار الشكل الموجي - للموجة (ii) والذي يظهر عند خرج المفصل والذي سبق ادخال موجة مربعة بين طرفي دخله - ملاحظ أن تعبيراً محدثاً يحدث للموجة المربعة من الإنباء الموجب عند اللحظة A ، وطبقاً لما تؤديه دائرة المفصل ، يتناسب خرج دائرة مع معدل تغير جهد الدخل ، أي أنه عند اللحظة A - بمعظم جهد الخرج ويكون موجياً في الوقت نفسه . وحيث أن جهد الدخل يظل ثابتاً بين القطبين A و B فإن معدل تغيره يصبح معدوماً ، وبالتالي فإن قيمة خرج المفصل والمسيطر تصبح أيضاً صفراً | أنظر شكل الموجة (ii) | . وبالمعنى للمفصلات المتعددة عملياً - مستغرق جهد الخرج فترة زمنية قدرها t_r لكي نقول بقيته إلى الصفر ، على أن ثابت دائرة المفصل الزماني هو الذي يحدد هذه الفترة من الزمن التي من الممكن أن تنعكس قيمتها إلى بضعة مئات من النانوية ، ويحتمل جهد البطل ، عند النقطة B ، بسرعة مفاجئة لأدنى مستوى له . بحيث يتعاطف معدل تغير جهد الخرج ويكون سالباً في الوقت نفسه . وتصبح قيمة خرج الجهد التالي ، عند هذه اللحظة معطوفة ومائلة في الوقت نفسه - وكما سبق ، يصبح جهد الدخل ثابتاً بين القطبين C و B (لانعدام معدل تغير الجهد) بحيث يتخذ جهد الخرج للمفصل قيمة الصفر مرة أخرى وذلك بعد انتهاء الفترة العابرة

بالنسبة للخروج وعند النقطة C يرداد جهد الدخل بسرعة في الاتجاه الموجب — ليمطي جهدا سنبليا موجبا عند الخروج .

والآن دعنا نأخذ في الاعتبار شكل موجة خرج من دائرة المكامل والذي سبق تسليط موجة مربعة بين طرفيه . أن جهد الدخل بين النقطتين A و B يظل ثابتا وموجبا ، وطبقا لما تؤديه دائرة المكامل ، يتخذ معدل تغير جهد الحرج منها قيمة ثابتة وموجبة ، أي أن جهد الحرج يزداد بانتظام مع الزمن ومن الممكن إيساح ذلك من الشكل الموجي (iii) حيث يزداد جهد خرج المكامل ، بانتظام مع الزمن ، بين النقطتين U ، V ، ويتخذ جهد الدخل قيمة ثابتة وسالبة في الفترة الزمنية بين النقطتين B و C ، وبالتالي يتخذ معدل تغير جهد الخروج من المكامل قيمة ثابتة وسالبة ، أي أن جهد الحرج للمكامل يتناقص مع الزمن . مرة أخرى ، عند اللحظة E يصبح جهد الدخل موجبا ، عندما يبدأ جهد الحرج من المكامل في الزيادة بانتظام في الاتجاه الموجب .

يوضح الوصف السابق كيف أن الموجة المربعة الشكل ٢ — ١٤ [١] ، تشكلت بواسطة الفاصل لتعطى نبضات متوالية [الشكل الموجي ١٤] ، أو موجة مثلثة [الشكل الموجي ١٤] ، بواسطة المكامل .

لنأخذ في الاعتبار الآن الطريقة التي تشكل بها الموجة الجيبية [الشكل الموجي ١٧] في شكل ٢ — ١٤ [ب] سوى دائرتي الفاصل والتكامل .

لنعتبر أولا الخروج [الشكل الموجي V] من دائرة الفاصل ، في اللحظة D ، يتخذ معدل تغير الشكل الموجي للدخل أكبر قيمة موجبة ، ويشترك ميل موجة الدخل بين النقطتين D ، E حتى يصل إلى النقطة التي يصبح الميل عندها صفرا . بالتالي تتلاشى قيمة جهد الخروج من الفاصل أثناء هذه الفترة وتتخذ قيمة الصفر عند E . ويصبح ميل موجة الدخل سالبا بين النقطتين E ، G ويقع أكبر معدل تغير عند F . ويتخذ جهد الحرج من الفاصل ، بالتالي قيمة سالبة بين النقطتين E و G ، ويأخذ قيمة له عند F .

أما إذا سلطت موجة جيبية بين طرفي دائرة تكامل فانه بالاستعانة بفكرة عمل دائرة المكامل السابقة تتخذ موجة الحرج شكل المنحنى (vi) في شكل ٢ — ١٤ [ب] .

ويلاحظ أن دائرة الفاصل أو المكامل لا تعبر شكل الموجة الجيبية ولكن تغير موضعها بالنسبة للزمن ، أي أن ، شكل موجة الخروج قد تفرح رسميا . وتستخدم هذه الخاصية في كثير من دوائر المدخلات الإلكترونية وكذا في الدوائر الإلكترونية المستخدمة في التحكم في الثايرستور ولتحكم في الأخطاء بالترياك وفي نظم التحكم في المحركات .

٢ - ١٢ دوائر المفاضل والمكامل المكون من RC

يوضح شكل ٣ - ١٥ [١] ، [ب] ، الدوائر المحتوية على معلومات ومكتبات نقط والتي تحقق افراض كل من المفاضل والمكامل على الترتيب .
وكمطلب هام بالنسبة لدائرة المفاضل ، لابد ان تكون قيمة الثابت الزمني [حاصل ضرب RC] اقل بكثير من الزمن الدوري للموجة المراد تعاضلها .
او بمعنى آخر ، لابد ان تكون قيمة الثابت الزمني اقل بكثير من الفترة الزمنية الملاحظة بين A و C في الرسم (i) من شكل ٣ - ١٤ [١] او اقل بكثير من الفترة الزمنية بين H و D في الرسم (iv) من شكل ٣ - ١٤ [١]
وقد يكون عشر الزمن الدوري للموجة ثابتا زمنيا شتعا بالنسبة للمفاضل .



شكل ٣ - ١٥ (١) دائرة مفاضل مكونة من RC (ب) دائرة مكامل مكونة من RC

ولابد ان يكون الثابت الزمني ، في حالة المفاضل ، اكبر بكثير من الزمن الدوري للموجة وينبغي ان قلص قيمة الثابت الزمني الشائع لدائرة المكامل ، حوالي عشر مرات الزمن الدوري للموجة المراد تعاضلها .

اذا سلطت موجة زمنها الدوري 10 ms على كل من الدائرتين ، فانه

$$RC = \frac{10 \text{ ms}}{10} = 1 \text{ ms} \quad \text{بالنسبة للمفاضل}$$

$$RC = 10 \times 10 \text{ ms} = 100 \text{ ms} \quad \text{بالنسبة للمكامل}$$

٣ - ١٤ المكثفات في دوائر التيار المتردد

لقد اقتصرنا معالجتنا ، الى حد كبير ، في هذا الفصل للمكثفات المرتبطة بدوائر التيار المستمر . وسوف يتضح في الفصل السادس كيف تؤدي المكثفات وظائفها في دوائر التيار المتردد .

الفصل الرابع

ملفات المحطة

ملفات المحطة أو الملفات هي إحدى عناصر الدوائر الإلكترونية المستخدمة بكثرة دائما ما يساء استخدامها إما بحمل فوق الطاقة أو تسخين أكثر مما ينبغي بالإضافة إلى أنها توصل دائما إلى الإمكانات البعيدة المثال . وبالرغم من ذلك، فإن هذه الملفات تعتبر ضمن أكثر العناصر التي تعتمد عليها في الدوائر الإلكترونية . ويقع الانهيار الكهربى لملفات المحطة عادة نتيجة لانهيار بعض المكونات الأخرى التي تسبب حملا زائدا على الملف .

٤ - ١ التشغيل والتركيب

ملفات المحطة هي ملفات سلكية ولها قلب هوائى أو قلب حديدى أو قلب ferrite . ويتسبب عن مرور التيار الكهربائى إلى الملف ، فيصنع مغناطيسى في القلب ، وتعرف قلبية الملف لإنتاج الفيض بالحث الذاتى أو ببساطة بالمحطة ويرمز لها بالرمز L . وبالنسبة لقيمة معطاة للتيار ، يتزايد الفيض المغناطيسى الناتج مع ازدياد قيمة محطة الملف . والهنرى هو وحدة المحطة ويرمز له بالرمز H . ويعرف الحث الذاتى للملف بالمعادلة الآتية :

$$\text{عدد لفات الملف} \times \text{الفيض المغناطيسى الناتج} \\ \text{التيار المار في الملف} = L = \text{المحطة}$$

$$= \frac{N\Phi}{I} \text{ هنرى (H)}$$

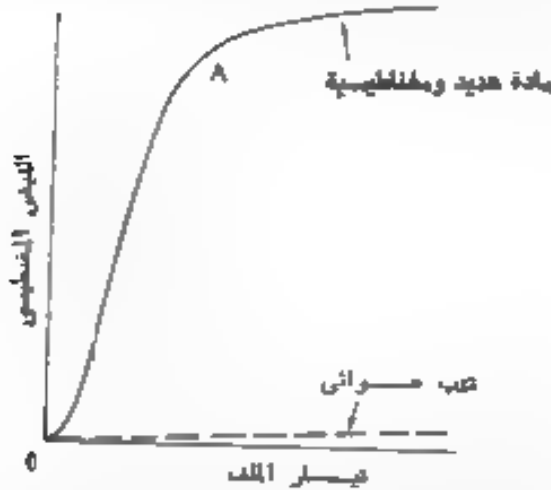
حيث Φ [رمز يونيتى Phi] هو الفيض المغناطيسى الناتج من الملف بالويسر [رمزه Wb] . وأجزاء الهنرى الشائعة هي الميلي هنرى (mH) والميكروهنرى (uH) والسيكوهنرى (pH) .

ويختلف المدى المستخدم لقيمة المحطة في الدوائر الإلكترونية من ميكرو هنرى للملفات المستخدمة في معدات أجهزة الاتصالات فوات الترددات

العالية الى عدة مئات من وحدات الهنرى للملفات المستعملة في شبكات القوى . ويرتبط الرقم الصغير جدا والمشار اليه سابقا مع لفه واحدة من السلك مثلا حول قلب من الهواء . ويمكن الحصول على القيمة المرتفعة بعدة مئات أو آلاف من الملفات السلكية الملقومة على قلب حديدي .

٤ - ٢ المواد المغناطيسية

لزيادة محالة الملف بدون زيادة عدد لفات السلك ، لابد من استخدام قلب مصنوع من مادة حديدومغناطيسية . المواد الحديدومغناطيسية هي الحديد أو سائك الحديد المحتوي على النيكل أو الكوبلت والتي لها بعض علاقه الميضي المغناطيسي مع التيار كما في شكل ٤ - ١ . ومن أجل المقارنه فقد أوضح نفس الشكل العلاقة بين الميضي المغناطيسي والتيار عندما يكون القلب الملفوف عليه الملفات من الهواء ، وسلاحظ انقضى مدى الريادة الجوهرية للميضي المغناطيسي الناتج نتيجة استعمال قلب مصنوع من مادة حديدومغناطيسية .



شكل ٤ - ١ العلاقة بين الميضي المغناطيسي والتيار للمواد القيرومغناطيسية .

ويتزايد الفيض المغناطيسي في القلب بسرعة بين المقطعين 0 و A ، وتعرف النقطة A على الرسم بمحمل أو كوع المنحنى . وابتداء من هذه النقطة يتقلطح المنحنى وعندها يقال ان المادة المغناطيسية قد تشبعت ، وبعد بداية التشبع ينتج زيادة طفيفة في الفيض المغناطيسي مع أي زيادة كبيرة في التيار .

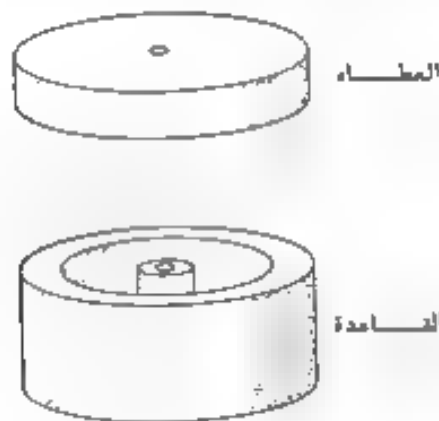
وتتميز المسواد الحديد ومغناطيسية ، بالمعبر اللصقوت للقاومتها لمادا أنتج بالحث أو بالتأثير في المادة ق.د.ك نته ينتج منها تيار موضعي [يعرف بالتيار الدوامي] يتخذ مسارا دائريا بها . ويريد هذا التيار من القدرة الكهربائية المفقودة في المادة مع احهره التردد العالي مما يؤدي الى هرح نظرا لعدم امكانية استيعاب هذه القدرة المفقودة . وتشمل

الطرق المستخدمة للتقليل من هذه القدرة المفقودة ، استعمال قلب من رقائق الحديد يتكون من رقائق رقيقة تستخدم بطريقة تؤدي الى زيادة مقاومة دائرة الحديد لسريان التيار الدوامي . وهناك طريقة بديلة اخرى تستخدم قلبا من مسحوق الحديد أو قلبا من البرادة المصنوع من مسحوق الحديد الناعم الذي يلصق على الشكل المطلوب . هذا وتصبح مقاومة المادة مرتفعة جدا نتيجة لمثل هذا التركيب .

ونستخدم أيضا مواد تعرف بالفيرينات ferrites كتلوب مغناطيسية في كثير من ملينات المحاثات بالنسبة لاستخدامات الترددات العالية . والفيرينات هي مواد حركية لها خواص مغناطيسية مشابهة للحديد ، ولكنها تعتبر عوازل من الوجهة الافتراضية .

وبالتالى تسمح القدرة المفقودة في القلب المصنوع من الفريت صغيرة حيث أن قيمة التيار الدوامي منخفضة وهذا النوع من المدة قابل للنصف ويمكن سهوله أن ينحطم بالاستعمال غير الواعي ، وتستهمل قلوب الفريت بكثرة في تركيب ملفات مستعمل الراديو المنقل وهي استخدامات الاتصالات الكهربائية .

ونستخدم في كثير من الملفات قلوب من الفريت على شكل وعاء pot كما هو موضح بالشكل [٢ - ٤] ويسمى القلب الوعائى سبب شكلها . ويركب قلب تشكيل الملف حول القلب الاسطوانى المركزى من الجزء



شكل ٢ - ٤ قلب وعائى من الفريت

الاسفل . هذا ويتم توصيل القاعدة مع المطاء ليكونا مساراً مغناطيسياً متصلاً . ومن الممكن ضغط محاثات الملف لحد ما أما سحير الفجوة الهوائية بين المطاء والقاعدة أو بالحكم في مسار طولى يمكن أن يتحرك لدخل أو خارج مركز قلب الوعاء .

٤-٣ مواد الحجب المغناطيسي

تفتح المجالات المغناطيسية في عديد من المعدات الصناعية مثل المحولات والمغناطيسات الكهربائية ... الح . ويشعب عنها ظهور ق.د.ك. مستحثة بالاجهزة الالكترونية عند تعرضها لهذه المجالات . ويؤدي هذا الى حدوث تداخل كهربائي يعرف باسم الصواء الكهربائي وقد يتسبب من ذلك اخلال اداء بعض الدوائر . وللتقليل من التداخل نتيجة لهذا السبب نجيب الاجهزة الحساسة بوضعها في وعاء مصموم من احدى سبائك الحديد والنيكل مثل « الميوميتل » وهي سبيكة شديدة التأثير بالمغناطيسية ويؤدي هذا السلتر لحدوث قصر مغناطيسي حول الاجهزة فيما يختص بالمجال المغناطيسي الخارجي . ويعتبر اللوح المعدني ، الذي يطف معظم المعدات الصناعية ، ساترا مغناطيسيا ضعيفا للتجميع الرئيسي لهذه المعدات .

٤ - ٤ القوة الدافعة الكهربائية المستحثة ذاتيا

(ق . د . ك المعارضة) في الملف

تسبب خاصية الحثية الذاتية للملف ظهور الـ ق.د.ك. مستحثة كلما تغيرت قيمة التيار المار في الملف . وتعرف هذه الـ ق.د.ك. بالـ ق.د.ك. المعارضة او ، الـ ق.د.ك. المستحثة ذاتيا . ويتحدد على الدوام اتجاه او قطبية هذه الـ ق.د.ك. ذاتية بحيث تعاكس التغير في التيار الذي يسبب هذه الـ ق.د.ك. (وهذا القول يعتبر قنونا أساسيا في الكهرومغناطيسية كما امر عنه لأول مرة المبريائي Heinrich Lenz ويعرف بقانون Lenz) [او بمعنى آخر ، اذا اتجهت قيمة التيار في الملف للزيادة فإن الـ ق.د.ك. المستحثة تعاكس هذه الزيادة ، واذا اتجهت قيمة التيار في الملف الى النقص فإن الـ ق.د.ك. المستحثة الذاتية تعاكس أيضا هذا النقص في التيار .

ولعل هذه الظاهرة الموضحة عليه ، بالذات ، هي التي جعلت من الحثية أداة مفيدة في دوائر التيار المتردد (a.c) . فالـ ق.د.ك. المعارضة والمستحثة نتيجة تغير التيار يمكن أن تستخدم للحد من قيمة التيار نفسه . وستوضح هذه الخاصية أكثر من ذلك في باب دوائر التيار المتردد [الفصل السادس] . وبالتالي نشعا لما ذكر سابقا فإن بعض أنواع الملفات المستخدمة في دائرة التيار المتردد توصف كـ **مخلفات خالقة** ، أو ببساطة كـ **مخلفات** .

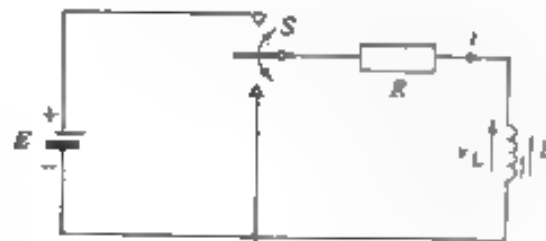
٤ - ٥ . ازدياد واضمحلال التيار في دائرة محمّلة

توجه عملية في علم الالكترونيات الى سرعة نقل او فصل لدائرة الكهربائية التي تتضمن ملفاً . فمثلاً ، بالنسبة لبعض الانواع من الدوائر المنطقية الالكترونية ، قد تضطر بسيطة الحرج [دائماً ترانسستور] لا يصل التيار في دائرة المرحل (relay) من قيمة الى اخرى في زمن قليل جداً وفي دوائر الالكترونيات القوى الكهربائية قد يصبح من المحتمل أن يتغير التيار المار خلال ملفات المجال أو خلال عصو الانتاج الكهربائي لآلات التيار المستمر سرعه . لذلك يصبح أمراً في غاية الحيوية أن نتفهم كيفية تزايد واضمحلال التيار في دوائر المحمّلة .

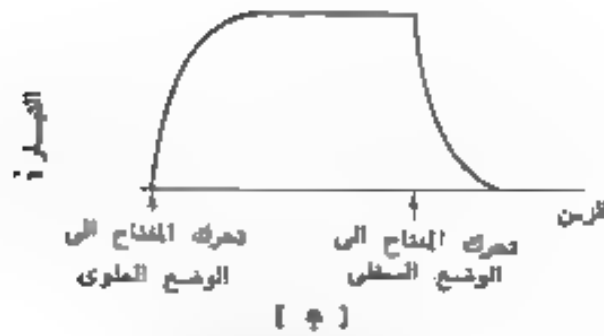
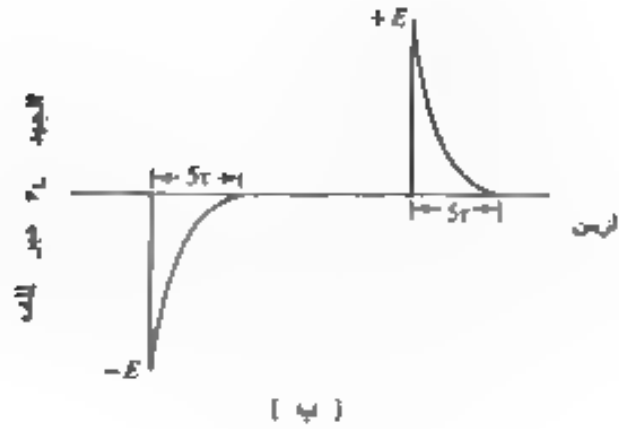
وقد تمكننا الدائرة الموضحة في شكل ٤ - ٣ [أ] من دراسة عمل موائير المحمّلة في احوال التوصيل أو القطع . ففي البداية ، يوضع المفتاح الكهربائي S في الوصل المتوسط ويكون قيمة التيار المار في الدائرة مساوية للصدر . بعد تحرك بصل المفتاح الكهربائي الى الوضع العلوي ، يتصل الملف بالمسح ، ويميل التيار المار بالملف الى الزيادة . وكما وضع في الجزء ٤ - ٤ ، ينتج أن الـ ق.د.ك المستحثة ذاتها تملكس جهده البطارية . وكما هو موضح في الشكل ٤ - ٣ [ب] تكون القيمة الابتدائية الـ ق.د.ك المعارضة مساوية لقيمة جهد المسح E بحيث أن مجموع الـ ق.د.ك في الدائرة يساوي صفراً [مثل ما تساويه قيمة التيار] وتصلحل الـ ق.د.ك المعارضة ببطء وتزايد قيمة التيار ، في نفس الوقت . تدريجياً حتى تصبح قيمة الـ ق.د.ك المعارضة صفراً ، ويكون التيار قد وصل الى قيمته العظمى [انظر شكل ٤ - ٣ ج] . هذا ويرتبط الرمن الذي استمرته التيار ليصل الى قيمته العظمى مع الثابت الزمني : لدائرة المقاومة والملف (RL) ، ويعطى بالمعادلة .

$$\text{الثابت الزمني} = \tau = \frac{L}{R} \quad \text{ثانية}$$

حيث L هي المحمّلة الذاتية للدائرة بالهنري و R مقاومة الدائرة بالاوهم



[أ]



شكل ٤ - τ تزايد والمخطط التيار في دائرة المحصلة .

غدا ما احتوت دائرة على محث ذاتية قيمتها 120 mH ومقاومة مقدارها 10 Ω ثابتهما الزمن هو

$$\tau = \frac{120 \text{ mH}}{10 \Omega} = \frac{120 \times 10^{-3} \text{ H}}{10 \Omega} = 12 \times 10^{-3} \text{ s} = 12 \text{ ms}$$

ويمثل هذه القيمة من الثالث الزمن ، يستغرق التيار زمنا قدره

$$5\tau = 5 \times 12 = 60 \text{ ms}$$

لكي يصل إلى قيمته النهائية بعد اتصال المصدر للدائرة [تحليل هذه الدائرة معطى في الفصل الخامس من كتاب الإلكترونيات المتقدمة لمؤلفه Noel M. Morris ، ونشره (Mc. Graw - Hill) وبعد مرور الفترة المعيرة يظل التيار المر في الدائرة ثابتا وتصبح الـ ق.د.ك المعارضة مساوية للصفر . وفي خلال هذه الفترة من التشغيل ، يساوي فرق الجهد على طرفي الملف مع هبوط الجهد عبر المقاومة الداخلية للملف . وفي الحالة ، تكون قيمة فرق الجهد الثابت صغيرة . فمثلا بالنسبة ملف ذي محثه 150 mH وتياره المقنن 0.9 A تكون قيمة مقاومة الملف حوالي 2.5 Ω ، فعندما يمر أقصى تيار ، يصل فرق الجهد بين طرفي الملف إلى ما يقارب 2.25V فقط .

وقبلاً إلى مستعرض أن المفراج S الموصح في شكل ٤ - ٣ [١] مثالياً وأن محله يمكن أن يتحرك من الموصح الطوي إلى الموصح السطلي في زمن قدره صفراً . فعندما يحدث هذا التحرك فإن دائرة الـ RL تصبح في حالة مصر . ويبدأ التيار المار خلال الملف لحظياً في الازدياد . وفي حالة مصر ، تلعب قوايين الطبيعة دورها ، إذ تستحث في الملف ق.د.ك . معارضة وفي اتجاه يعاكس التغير في التيار ، أي أن اتجاه الـ ق.د.ك . المستحثة دائماً يتحدد بحيث يحاول الإبقاء على قيمة التيار الأصلية في الدائرة . ويصطلح قيمة ق.د.ك . المستحثة بـ \mathcal{E} ومعها في نفس الوقت يصبح التيار المار في الملف أيضاً . مرة أخرى ، يستغرق التيار فترة زمنية تعادل حوالي خمس مرات الثابت الزمني لكي يصبح إلى قيمة في غاية الصغر [انظر شكل ٤ - ٣ [ج]] .

والموصح شكل ٤ - ٤ | أساس عمل كثير من السبواثر الالكترونية المستخدمة لإيقاف أو قطع التيار في دائرة مرحل . فالمفراج S [المين في الموصح الموصل] يستعاض به . من أجل التبسيط ، عن المفراج الالكتروني الذي يمكن أن يكون واحداً من عديد من السط التي تشمل الترانزستور والثايرستور والثرمياك . معد مـ S ، تحول لـ ق.د.ك . المعارضة التي تستحث في الملف ، أن تحافظ على دوام انسياب التيار في الدائرة



شكل ٤ - ٤ | الموصح القائم في معظم السبواثر الالكترونية .

وينتزع من المناقشة السابقة أن قطعة الـ ق.د.ك . المستحثة دائماً في الملف تتحدد تحت هذه الظروف بحيث تساعد الـ ق.د.ك . حتى تحافظ على دوام انسياب التيار ، وكلما زادت سرعة فتح المفراج S ، كلما ازدادت قيمة الـ ق.د.ك . المستحثة ذاتياً في الملف ، حتى يقسم لها المحافظة على دوام انسياب التيار . وحيث أن الـ ق.د.ك . المستحثة دائماً في الملف تعاد إلى جهد المصدر من جهد النقطة B بالنسبة إلى النقطة C يكون أعلى من قيمة جهد المصدر .

ومن الممكن في بعض الدوائر بالتطبيقات العملية ، أن يصل جهد النقطة B ، لحظيا لقيمة تتعدى مائة ضعف جهد المصدر .

وكنتيجة لما سبق ، تتولد « شرارة سبيلية » من جهد عابر عبر المفتاح عند لحظة مضمرة . ولقد أصبح شائعا الآن ، أن نطأ أشباه الموصلات بحرصه للتعف نتيجة الجهد الرائد . ومن المحتمل أن تعطل الدائرة بطريقة ما ، من مثل هذا النوع من التطبيقات ، حتى يسمى أما وظيفه المفتاح الإلكتروني من أسوأ احتمالات لتأثير زيادة الجهد ، أو لمنع ظهور شرارة الجهد السبيلية تملأها [انظر الفصل الثامن والفصل الخامس عشر] .

ويمكن حساب قيمة الـ e . ق.د.ك المستحثة ذاتيا e من المعادلة الآتية :

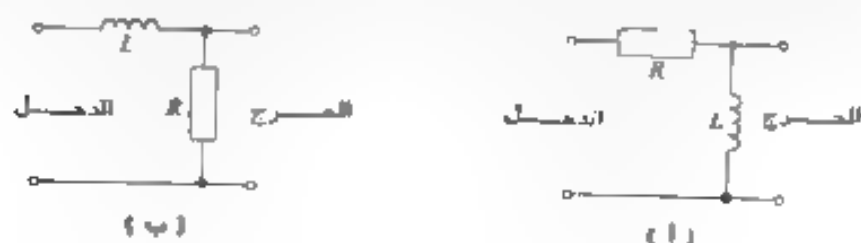
$$e = L \times \frac{di}{dt}$$

حيث di/dt هي طريره مضمرة لقول « معدل تغير التيار بالنسبة للزمن » و L هي محالة الملف بالمهرى .

مادا كان المفتاح الموصح في شكل $\epsilon - \epsilon$ « مثليا » فله يصبح قادرا من الوجهه النظرية على قطع تيار الدائرة في زمن قدره صفرا ، أي أن معدل هبوط التيار يصبح لانهايا مادا ϵ طبق هذه القيمة في المعادلة فأتينا برى أن قيمة الـ e . ق.د.ك المعارضة باللف ، من مثل هذه الدوائر ، تطلع تبه لا نهائية . ويؤدي هذا الى تلف بسيطة شه موصل مستعمله كمفتاح الكتروني . وبالتالي يصبح أمرا حيويا للعلة ، حماية أشباه الموصلات المستخدمة في مثل هذه الدوائر المتصلة من هذه العواقب .

٤ - ٦ دوائر RL التفاضلية والتكاملية

يمكن استخدام دوائر الـ RL كمفاصل ومكامل للإشارات الكهربائية كما في حالة دوائر الـ RC . ويبين الشكل $\epsilon - ٥$ الأشكال الأساسية لدوائر الـ RL . ونقل استخدام دوائر الـ RL كثيرا في عمليات التفاضل والتكامل عن دوائر الـ RC لدواع كثيرة لعل أهمها غلو وكبر حجم ملفات



شكل $\epsilon - ٥$ (١) دائرة تفاضل مكونة من RL (ب) دائرة تكامل مكونة من RL

المحثة ويحتم أن تكون قيمة الثابت الزمني (L/R) ، لدائرة التفصل الجيئة في شكل [٥ - ٤] ، أقل بكثير جدا من الزمن الدوري لاشارة الدخل ومن اللازم ايضا أن تكون قيمة الثابت الزمني ، لدائرة التكامل المعينة في شكل [٥ - ٤] اكبر بكثير جدا من الزمن الدوري لاشارة الدخل .

٤ - ٧ ملفات المحثة في دوائر التيار المتردد

اقتصر في هذا الفصل على توضيح عمل المحثة في دوائر التيار المستمر وسيوضح عملها في دوائر التيار المتردد في الفصل السادس .

الفصل الخامس

الجهد المتردد والتيار المتردد

الجهد المتردد هو الجهد الذى تنعكس فيه قطبية طرفى المصدر بطريقة مستمرة بين الموجب والسالب . والشكل الموجى الجيبى أو المتردد هو ما تصادفه غالباً فى مجال الهندسة الكهربائية . ويسمى كذلك لأنه تتبع منحنى الجيب الرياضى عند رسم شكل موجة الجهد بالنسبة للزمن . وستكون الموجات الجيبية أساساً لمعظم المناقشة فى هذا الفصل والفصل الذى يليه .

ومن الجدير بالذكر أن كثيراً من الاشكال الموجية فى الدوائر الالكترونية لا تتخذ الشكل الجيبى . ومع ذلك فلا تزال معلوماتنا عن الموجات الجيبية ذات أهمية حيوية فى هذه الحالة لأنه يمكن اعتبار الموجات غير الجيبية ، كما سنرى فيما بعد ، مركبة من عدد كبير من الموجات الجيبية (هذه الطريقة تسمى تركيب الشكل الموجى) .

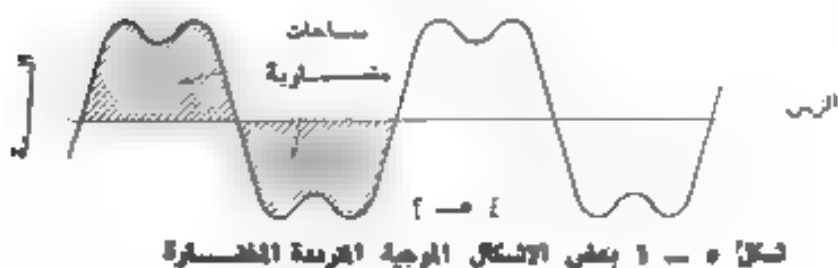
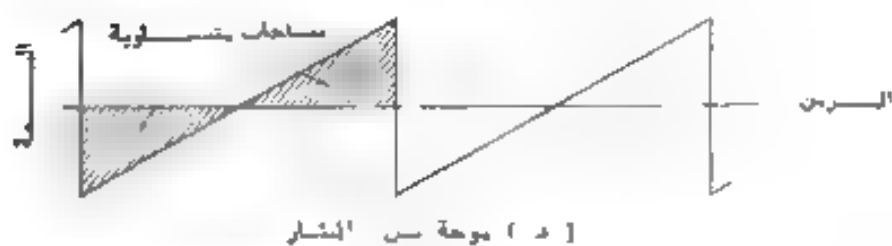
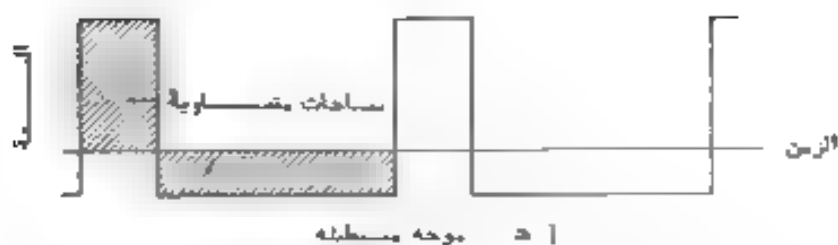
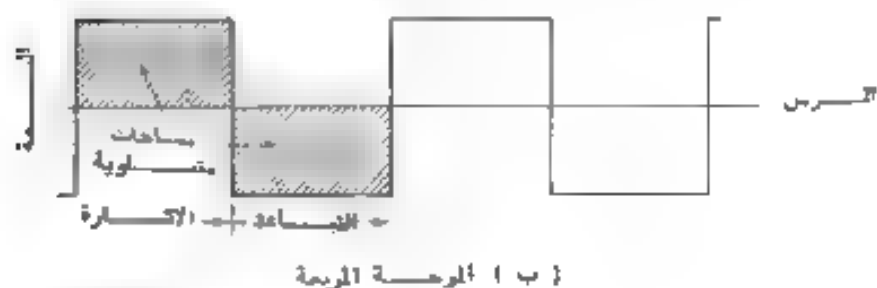
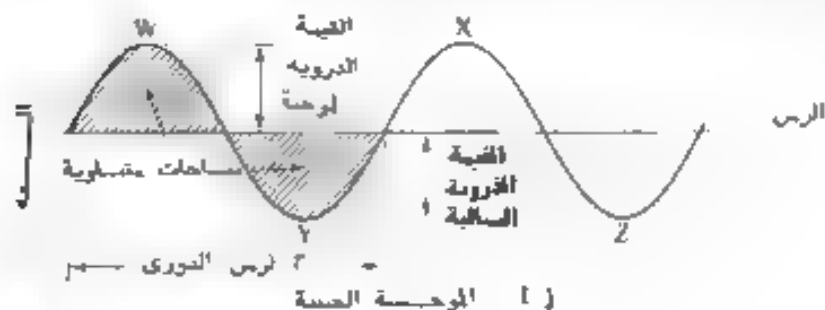
٥ - ١ الاشكال الموجية المترددة

يوضح شكل [٥ - ١] مجموعة مختارة من الاشكال الموجية المترددة المتداولة فى الدائرة الكرونية .

ونلاحظ انه عندما يراد الإشارة الى الشكل الموجى المتردد فإنه من المألوف أن يسمى بالشكل الموجى للتيار المتردد ، ولو أن ذلك ليس تعبيراً دقيقاً . وفى هذا الكتاب فإن تعبير جهد تيار متغير سوف يعنى بهذا متردداً ، أما مصدر « تيار متردد » فإنه يعنى مصدراً متردداً ... الخ .

وسنوضح فيما يلى بعض الخصائص البارزة للاشكال الموجية التى يمثلها شكل [٥ - ١] . ومن اللازم أن نعرف أولاً معنى شكل موجى متردد ، فهو الشكل الذى تصلوى قيمه المتوسطة فى دورة كاملة للبوحة صفراً . بمعنى أنه ، إذا ما من لنا قليل من جهد المصدر المتردد مستخدماً d.c نولتيمتر [القراءة المتوسطة] فإن قراءته ستكون صفراً . وبالمثل إذا ما وصل d.c أميتر على التوالى مع حمل R فإن قراءته تكون صفراً أيضاً .

ويوضح شكله ٥ - ١ شكلًا موجبا أسليا ، وهو الموجة الجيبية ،
والذي يعبر شكلا شائعًا من الأشكال الموجية لولاد التيار المتردد وكذا لخرج
بعض أنواع المبدعات . ويتوارى الشكل الموجي حول خط الصفر وتتساوى
المساحة التي فوق خط الصفر خلال النصف الأول للدورة مع قيمة المساحة
التي تحت خط الصفر خلال النصف الثاني .



ومى الحقيقة على مساحات جميع الاشكال الموجية المترددة اسفل واعلى
خط الصفر تساوي كما هو موضح بالشكل .

ان الرمز الدوري او متره الدندبة ، ويرمزها T ، لشكل لموجة المترددة
هو الرمز اللارم لانعام دورة واحدة فابله للتكرار ، ويقس الرمز الدوري
للموجة بالثنية او مضاعفات الثانية ، وفى الشكل ٥ - 1 [1] ، يبين
الرمز الدوري على انه الفاصل الرمزى بين نقطتي الصفر على الشكل
الموجى عندما يكون المراد موجيا . ومن الممكن ايضا قيس الرمز الدوري
بين النقطتين W و X او بين النقطتين Y و Z او بين اى نقطتين
تحتويان على دورة كاملة من التغيرات .

وتردد الشكل الموجى المردد ، ويرمز f ، هو عدد دورات الموجة
المقطوعة كل ثانية . اب وحدة التردد فى النظام الدولى الاصطلاحي (SI)
مهو الهرز ويرمزها Hz والعلاقة بينهما وبين الرمز الدورى هى

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

والموجة التى يبلغ رسمها الدورى 2 ميكرو ثانية (2×10^{-6} s) يكون
لها تردد قلح قيمته

$$f = 1/(2 \times 10^{-6}) = 0.5 \times 10^6 \text{ Hz} = 500\,000 \text{ Hz} = 500 \text{ kHz}$$

وعند النهاية الاخرى لطيف التردد سحد تردد مصدر الفترة فى العظام
الربطتى سمه بمدارها 50 Hz برمز دورى قيمه 1/50 s و 20 ms .
ومى امريكا سحد تردد مصدر القدره قيه بمدارها 60 Hz برمز دورى
قيمه 16.67 ms وبوسع شكل ٥ - 2 اجهزة الاكر من طيف التردد
المعروف ويستخدم فى الشكل مضاعفات التردد

$$1 \text{ kHz} = 1 \text{ kilohertz} = 1\,000 \text{ Hz}$$

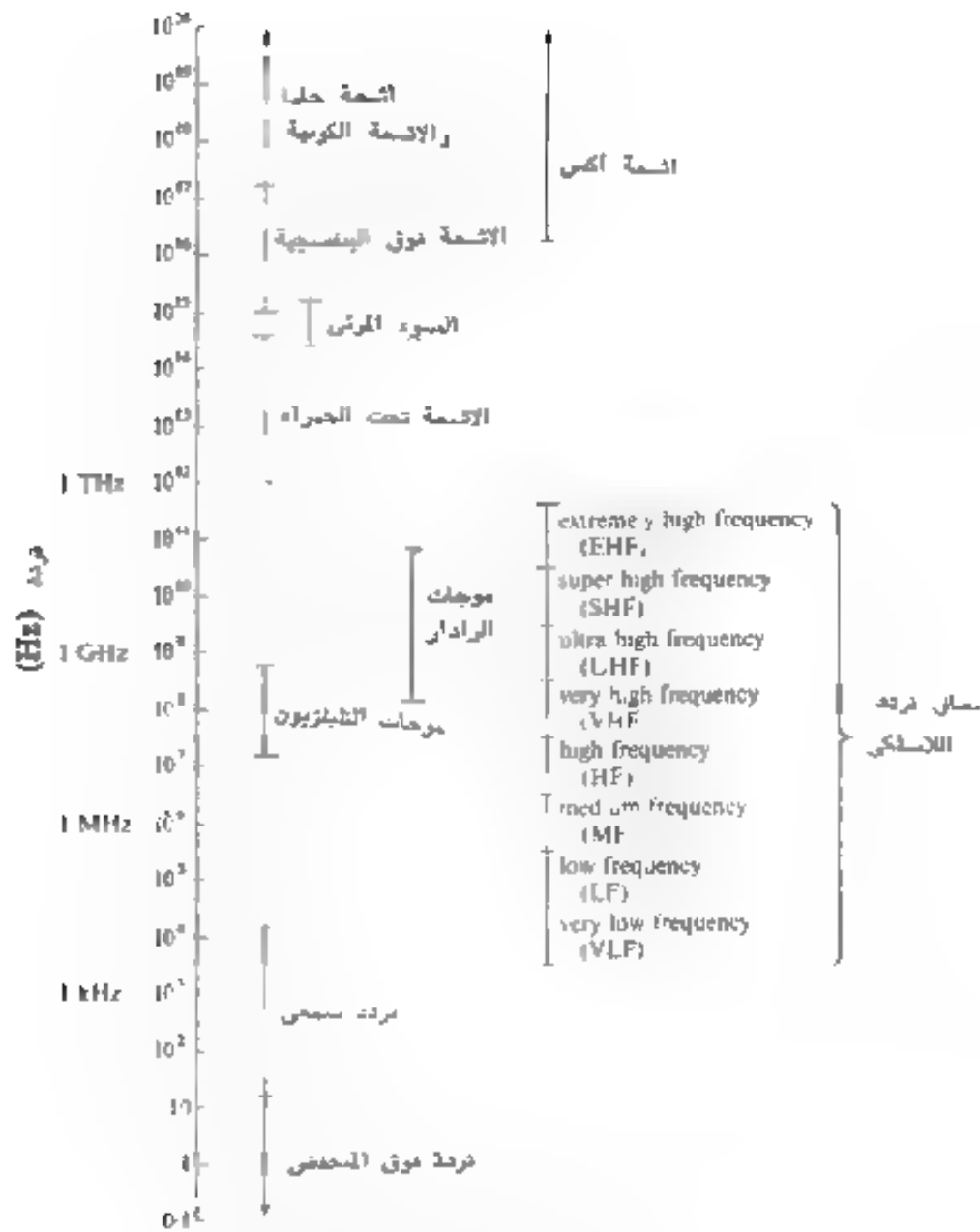
$$1 \text{ MHz} = 1 \text{ megahertz} = 1\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ kHz}$$

$$1 \text{ GHz} = 1 \text{ gigahertz} = 1\,000\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ MHz}$$

$$1 \text{ THz} = 1 \text{ terahertz} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ GHz} \\ = 1\,000\,000 \text{ MHz}$$

وسدا مدى الترددات التى تقابلها عاده فى علم الالكرونيات عند حوالى
10 Hz فى اسفل نهاية نطاق التردد السمعى وتمتد حتى 10^{11} Hz بالتقريب
(100 GHz or 100 000 MHz) فى اعلى نهاية نطاق تردد الوادار . ويلزم
تشغيل بعض انواع الاجهزة على درجة كبيرة من الدقة مثل ساعة اليد
الالكترونية التى تعمل بمذبذب يبلغ تردده 32768 Hz

ويقع نطاق ماسد التردد المحض اسفل نطاق التردد السمعى . ولبار
ما نواحه مثل هذه الترددات فى التطبيقات العمليه التى قد تشمل اجهزة
اخفاء التردد فى نظم التحكم مثل نظم التحكم الكهروميكانيكية [آلية التحكم]
القوى والتى تكون استجابتها فى غلبة البطء .



شكل (٥ - ١) نطاق في طيف التردد الكهرومغناطيسي

ويكون الفهم الدروبي لشكل الموجة المتردده في أقصى قيمة يمكن الوصول إليها سواء كانت أعلى أو أسفل خط الصفر . وتوجد قيم دروي متساوية خلال كل نصف دوره للشكل الموجية [أ] ، [ب] ، [د] ، [هـ] والموضحة في شكل [٥ - ١] . أما في حالة الموجة المستقطبة شكل [٥ - ١] فإن قيم الدروي الموجية والسالبة لا تتساوى .

وفي بعض الحالات ، تستخدم قيمة ما بين الدورتين للشكل الموجي في الحساب . وهي تمثل الفرق بين القيمة الدروبي الموجية والقيمة الدروبي

السالبة وهي ضعف القيمة الذرية لكل من الاشكال الموجبة [١] ، [ب] ، [د] ، [هـ] ، في شكل [٥ - ١] .

وتعرف جميع الاشكال الموجبة من [ب] الى [هـ] في شكل [٥ - ١] بالاشكال الموجبة غير الجيبية . للموجة المربعة التي في شكل [ب] ، فان الفترة الزمنية للجهد الموجب تتساوى مع الفترة الزمنية للجهد السالبة ، ومعرف هاتين الممتزتين كل على حدة ، بفترة الاشارة وفترة التبادل للموجة . وتعرف النسبة الزمنية للفترةين بنسبة الاشارة الى المباددة للموجة . وفي حالة الموجة المربعة بالشكل [ب] فان قيمة هذه النسبة تساوى واحداً اما بالنسبة للموجة المستطيلة بالشكل [هـ] فان قيمة هذه النسبة هي 3 : 1

يوضح شكل ٥ - ١ [د] أحد أنواع الموجات الاثريه [سن المنشار] وسميت كذلك بسبب شكلها . ويتواجد مثل هذا النوع من الموجات في دوائر الانحراف التقطى الزمنى لرسمه التذبذبات وفي دوائر تزامنية اخرى ويعتبر الشكل الموجي المبين في شكل [٥ - ١] [هـ] نموذجاً شائعاً لموجة جيبية مشوهة .

٥ - ٢ القيمة المتوسطة للموجة المترددة

كما ذكر سابقاً ، نأخذ بالنسبة للموجة المترددة الحقيقية تتساوى المساحة الموجبة مع المساحة السالبة وتساوى المساحة الكلية تحت المنحنى صفراً [مع الاخذ في الاعتبار الاشارة الرياضية لكل من المساحتين] . وبالتالي ، تكون القيمة الحقيقية للمتوسط الحسابي [أو متوسط القيمة] للموجة المترددة مساوية للصفر .

وفي الهندسة الكهربائية والالكترونيات ، تكون القيمة المتوسطة هي المرجع المألوف للموجة المترددة . وفي هذه الحالة ، يرجع الى القيمة المتوسطة للموجة بعد ان تكون قد قومت بواسطة مقوم مثالي للموجة الكاملة . وسوف نتأقش عملية القويم تفصيلياً في الفصل الثالث وسيعطى هنا مجرد وصف بسيط . ويتولى مقوم الموجة الكاملة وظيفة قلب انصاف الموجات السالبة بطريقة فعالة ، بحيث تندو جميع انصاف الموجات فوق خط الصفر . ويوضح شكل [٥ - ٣] موجة هيبية كاملة القويم ، وحيث أن كلا من نصفي الدورتين قد اتخذ الآن اشارة موجبة فله يمكن بالتالي قياس او حساب القيمة المتوسطة للموجة وفي حالة الموجة الجيبية ، تكون القيمة المتوسطة هي

$$\text{القيمة المتوسطة} = 0.636 \times \text{القيمة الذرية}$$

وتكون القيمة المتوسطة لتيار جيبى متردد ذو ذروة قيمتها 10 mA ، هي 6.36 mA . وينبغي ادراك أن الرقم 0.636 ينطق بالموجة الجيبية فقط وليس بالموجات الاخرى غير الجيبية .



→ دورة واحدة من تردد المصدر ←

شكل ٥ - ٢ موجة جيبية كالطاقة المتعرج

فمثلا تتساوى القيمة المتوسطة للموجة المربعة [شكل ٥ - ١] ب [ب] مع القيمة الدورية للموجة .

٥ - ٢ قيمة جذر متوسط المربعات « ج . م . م »

أو القيمة الفعالة للموجة المترددة

قيمة ج.م.م. للسوكة المترددة هي قيمتها الفعالة أي أنها هي القيمة التي تحدث نفس كمية الحرارة التي يحدثها التيار المستمر إذا مر من نفس المقاومة . مع حالة الموجة الجيبية .

قيمة ج.م.م. = $0.707 \times$ القيمة الدورية

فبالنسبة لمصدر جهد 240 V ج.م.م. فلن

$$\text{القيمة الدورية} = \frac{\text{قيمة ج.م.م.}}{0.707} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \text{ فولت}$$

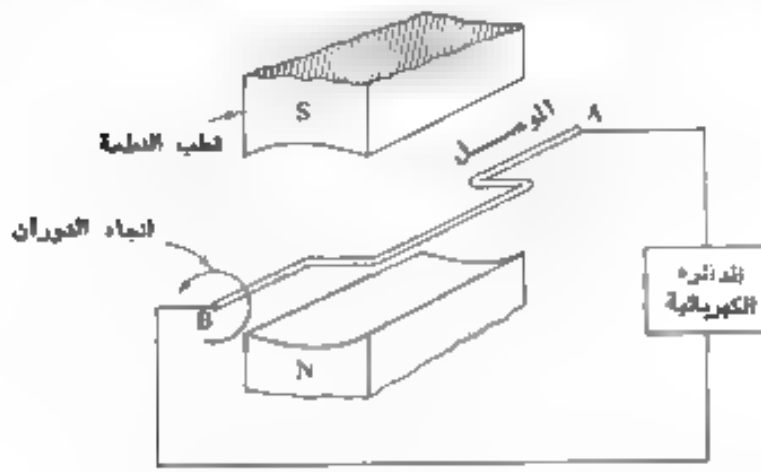
ونطبق المعامل 0.707 المعطى عليه في حالة الموجة الجيبية فقط ، وليس للموجات الأخرى . فمثلا يساوي قيمة ج.م.م. للموجة المربعة مع قيمتها الدورية .

٥ - ٤ بيان علاقة الطور

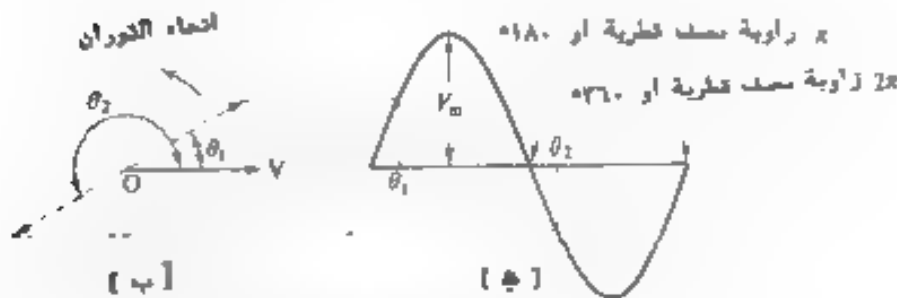
لنأخذ تحت الاعتبار مولدا للجهود المتردد ذا سلك واحد كما هو موضح بالشكل ٥ - ٤ [1] أ د يدور السلك ، ذي المركز عند مركز المضاميطيس الدائم ، بسرعة ثابتة . فعندما يكون السلك في الوضع الأقرب للقطب الشمالي S من المضاميطيس ، فإن الجهد المستحث به يتخذ اتجاهها بحيث

يؤدي إلى سريان التيار خارجاً من الطرف A للسلك . أما إذا كان السلك في الوضع الأقرب للقطب الجنوبي A ، فالتيار يسري خارجاً من الطرف B في هذه الحالة . وهكذا تتناوب قطبية الطرف N للسلك أثناء إشارته موجبة ثم أخرى سالبة عند دوران السلك في المجال المغناطيسي .

والآن ، لنفترض أن OV في شكل ٥ - ب يمثل بمقياس رسم مناسب أقصى قيمة V_m من الجهد المتردد والمستحث في هذا السلك ، ولنفرض أيضاً أن OV [يعرف بمين الطور] يدور بسرعة ثابتة حسب اتجاه عقرب الساعة . فإذا ما رصدت المساقط العمودية لطرف ممين الطور خلال دورانه ، نستطيع أن نحصل على موجة جيبية شكل ٥ - ج . [ج] . وتترافق نقطة البداية للموجة مع اللحظة التي يتخذ فيها ممين الطور وضعاً أفقياً . أي عندما تكون زاوية الدوران مساوية للصفر . فبعد ما يدور ممين الطور زاوية مقدارها θ_1 يكون جهد الطرف A للسلك في أي جهد من الطرف B . وبعد جزء من الوقت ، يكون ممين الطور قد دار خلال زاوية θ_2 مقاسه من نقطة البداية ، ويصبح جهد الطرف A للسلك سالماً بالنسبة للطرف B ، وبعد دوره كاملة يكون طرف ممين الطور قد رسم موجة جيبية كاملة .



[١]



شكل ٥ - ب [١] يولد تردد ذو سلك واحد [ب] يمثل الجهد المتردد بواسطة ممين الطور [ج] جهد الموجة الجيبية .

وحيث أن الدورة كاملة لمين الطور مستغرق 360° ميكانيكه مانه ، نظرا لوجود زوج واحد فقط من الاقطاب ، يساوى الدرجات الكهربائية للموجة المتردده مع الدرجات الميكانيكه وتصبح 360° كهربائيه ايضا . وعلى من الصن . أن عدد الدرجات الميكانيكية طبقا لمصاعبات عدد ازواج الاقطاب الموجوده . ونقاس زاوية الدوران ، كطريقه بديله فى بعض الاحيان بعدد الزاوية النصف قطريه غيب يسمى بالتقدير الدائرى . ويوضح شكل ٥ - ٥ فكرة القياس بالزاويا النصف قطريه .

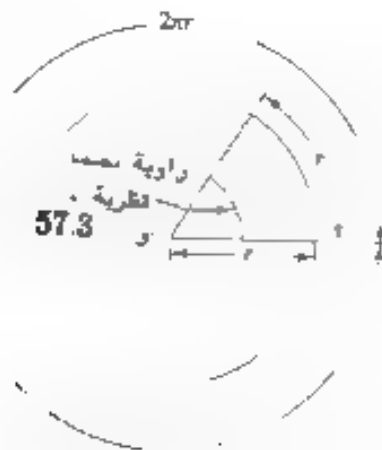
فالزاوية النصف قطريه هى الزاوية المركزية التى يتساوى طول قوسها المحصور بين ضلعينها مع نصف قطر الدائرة المرسومة فيها هذه الزاوية ، وقسمه الزاوية النصف قطريه يساوى 57.3° بالتقدير الستسى . ويوجد هناك 2π (6.284) زاوية نصف قطريه بالدائرة او فى دوره كامله .
لذا فان

180° تكافئ π زاوية نصف قطريه

360° تكافئ 2π زاوية نصف قطريه

ويساوى الزمن الذى يستغرقه السلك فى شكل ٥ - ٤ [أ] ليدور دورة كامله مع الزمن الدورى T للموجه المتردده ، لذا فان سرعة دوران السلك ω مقدره بعدد الزوايا النصف قطريه لكل ثقيه تكون

$$\omega = \frac{2\pi \text{ زاوية نصف قطريه}}{\text{الزمن الذى تستغرقه دورة كامله}} = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$



شكل ٥ - ٥ الزاوية النصف القطريه

لقد وضع سابقا أن تردد الموجة يساوى $1/T$ ان

$$\omega = 2\pi f \text{ rad/s}$$

حيث f هي التردد مقدرا بالهرتز . وتعبر الكمية w أحيانا بالتردد الراوى للموجه وتعطى السرعة الراوية للشكل الموجى دى تردد يساوى 50 Hz بالقيمة التالية :

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314.2 \text{ rad/s}$$

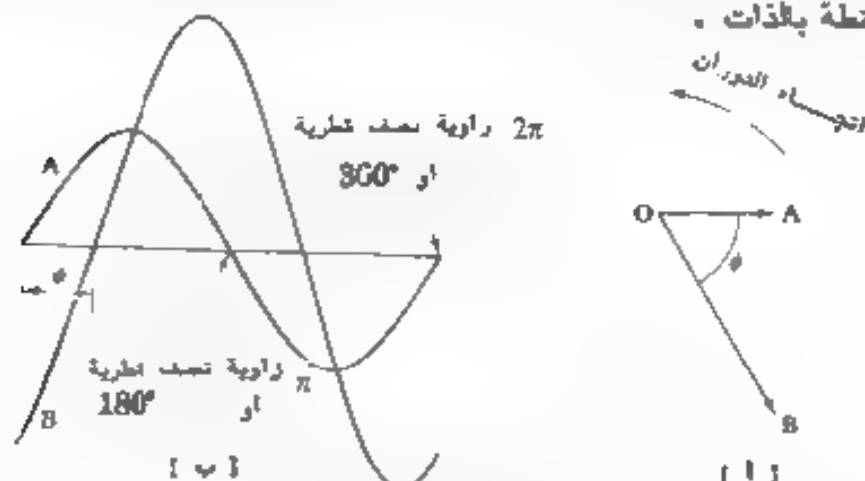
لقد وجد ان مكرة التردد الراوى ذات فائدة خاصة عند التعامل مع دوائر التيار المتردد .

٥ - ٥ اختلاف زوايا الطور

تتعامل من كثير من الدوائر الالكترونية مع موحات حسنة للجهد والتيار حيث يختلف زاوية الطور بينهم . ويوضح شكل ٥ - ٦ | مثلا على ذلك . فمن الممكن توليد مسبب للطور من حركة دائرية كما هو موضح بالرسم (a) من الشكل المذكور بواسطة سكين متصلين داخل المويد الكهربائى ولكن يبعد كل منهما عن الآخر بزاوية ϕ | تنطق فاي | .

نعد لحظة الزمن تحت الاعشار من الرسم | ١ | يحدد من الطور OA وضعا اعتبا . وتكون القيمة اللحظية عند إسقاط الموجه الحسية | الرسم [ب] | مساوية للصفر . ويحدد من الطور OB . فى نفس اللحظة ، الموضع الاسفل بحيث نتحدد ميينه المسطرة على الشكل الموجى من [ب] إشارة سالبة . عند دوران منى الطور ضد اتجاه عقارب الساعة تصبح قيمة الشكل الموجى A موجهه سبب تقل القيمة السالبة للشكل الموجى B حتى تصبح ايجابية اللحظية للمحى B مساوية للصفر وذلك بعد زاوية من الدوران مقدارها ϕ .

ونستخدم طريقة مسطه من الهندسة الكهربائية لشرح الاوضاع المسماة لمبيلات الطور المختلفة من خلال بيان العلاقة الموضح فى شكل ٥ - ٦ | كالآتى . نضع اتجاه اتجاه دوران مبيلات الطور طبقا للاصطلاح المصوب به [ضد اتجاه عقارب الساعة] يسمى ملاحظة ترتيب مرور مبيلات الطور عند نقطة بالذات .



شكل ٥ - ٦ رسم يوضح ان ضبط الطور B يتأخر من ضوابط الطور A بزاوية ϕ او بمعنى آخر بيان علامة الطور B متقدم عن بيان علامة الطور A .

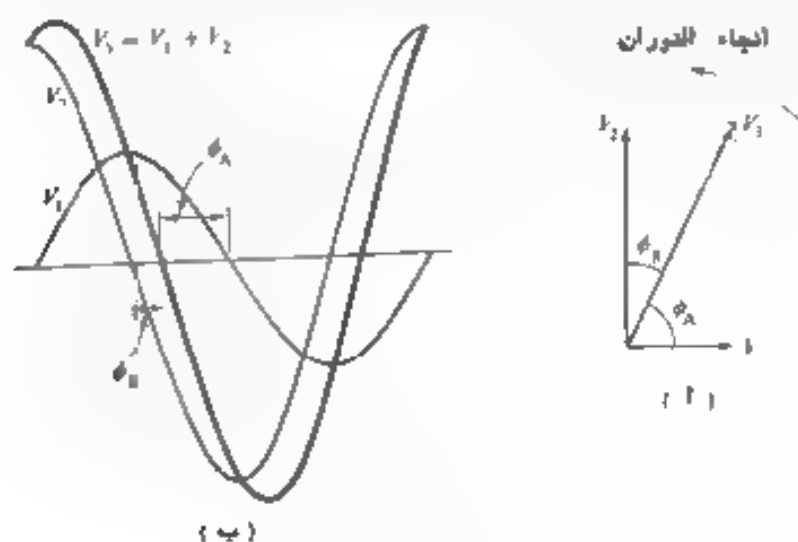
والسهولة ، تأخذ هذه النقطة عادة فوق الخط الأفقي على يمين مركز دوران مميزات الطور . وفي الشكل ، نستطيع ان نرى مميزات الطور OA ملائمة خلال هذا الخط الأفقي قبل ان يبرمه مميزات الطور OB . لذا يقال ان مميزات الطور OA يتقدم عن مميزات الطور OB بالزاوية ϕ . وبكيفية أخرى ، يقال ان مميزات الطور OB يتخلف عن مميزات الطور OA بالزاوية ϕ . وكتبراً ما يرجع الى الزاوية ϕ على ان « الاحلاف الطوري » او « زاوية الطور » بين مميزات الطور .

وحيث ان دورة اموجة المبردة سم خلال متره رمبه ثلثة [الرسم الدوري] فان زاوية دوران مقدارها 360° كهربائيه مكافئه عمرة رمبيه تساوي الزمن الدوري . ماذا كان تردد الموجه بساوي 50 Hz . ما ان زما دوريا قدره $1/50 \text{ s}$ او 20 ms مكافئه دوران مميزات الطور خلال زاوية مقدارها 360° . اذا كانت زاوية الطور ϕ باللمبة لشكل ϕ - 60° بساوي 60° ، فان « الاحلاف الطوري » عند تردد المصدر ساوي 50 Hz ، بماطرماتنا رمبيا بين مميزات الطور مقدار $3.33 \text{ ms} = 60/360 \times 20$. اما عند تردد مقدار 500 Hz اي ان الزمن الدوري 2 ms فان زاوية للطور مقدارها 60° سافر مارتنا رمبيا مقدار 0.33 ms .

٥ - ٦ جمع الموجات الجيبية

بين شكل ٥ - ٧ | طريقه جمع مميزات الطور V_1 و V_2 . فطبقا للطريقة الموصحه عالياه يصبح ان مميزات الطور V_2 يتقدم عن مميزات الطور V_1 براويه مقدارها 90° . ويوضح الرسم | | اعلمه جمع مميزات الطور V_2 و V_1 بطريقة الرسم . نكبال متوازي الاضلاع للحصول على المحصلة V_3 . ويدور مميزات الطور V_3 بنفس سرعة V_1 و V_2 ويرسم الاستقطاب المبردي لطره موجه جيبية كما في شكل ٥ - ٧ | ب | | .

وفي هذه الحالة تحت الاعسر ، متقدم مميزات الطور V_3 عن V_1 براويه مقدارها ϕ_A ويتخلف عن V_2 براويه مقدارها ϕ_B . وينصح من شكل ٥ - ٧ | ب | ان الزمن الدوري والتردد لكل من V_1 و V_2 و V_3 متماثل .



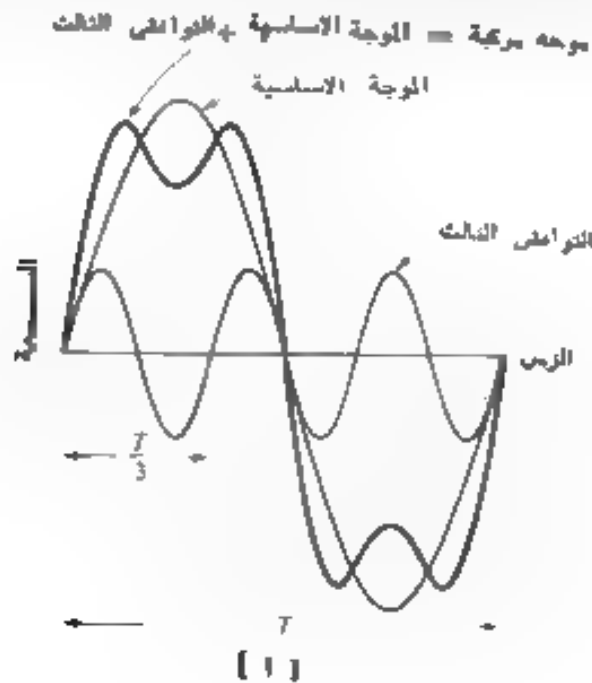
شكل ٥ - ٧ جمع الموجات الجيبية

٥-٧ التوافقيات

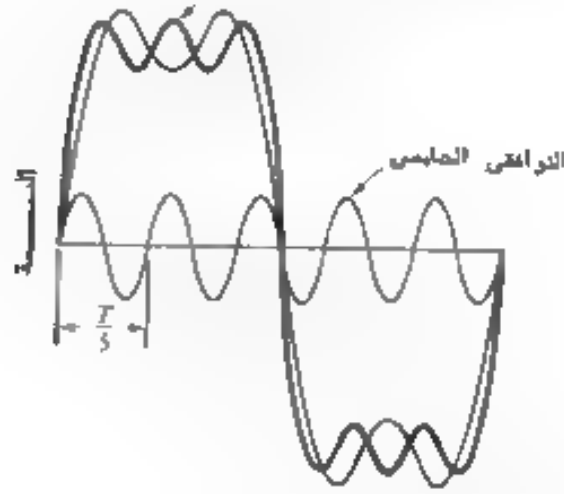
يمكن اعتبار الاشكال الموجية المتردد غير الجيبية مثل الموجة المستطيلة وموجة اسنل المنشار الموضحين في شكل (٥ - ١) وكلها مركبة من مجموع عدة موجات جيبية . ولهذه الموجات الجيبية ، مضاعفات تسامله ، [مازم صحيحة] للتردد الاساسي [التردد الرئيسي] . وتعرف هذه الترددات الاعلى ، والتي تشارك في تركيب الشكل الموجي النهائي بالترددات التوافقية او بالتوافقيات السهولة . ويتحدد التردد التوافقي الثاني قيمة تعادل ضعف التردد الرئيسي بينما يتحدد التردد التوافقي الثالث قيمة تعادل ثلاثة اضعاف التردد الرئيسي . . الح . ماذا كانت قيمة التردد الرئيسي تعادل 1 KHz ، على قيمة التردد التوافقي الثاني تعادل 2 KHz ، ويحدد التردد التوافقي الثالث ما قيمته 3 KHz بينما تصبح قيمة التردد التوافقي الخامس عشر تعادل 15 KHz . . الح .

وسمى عملية تركيب موجة مركبة وعبر جيبية من التردد الاساسي وعدد من التوافقيات بالتركيب الموجي . ويمكن توضيحها في حالة الموجة المربعة المبينة بشكل (٥ - ٨) . وتتحدد الخطوة الاولى لتركيب الموجة بضامة التردد الرئيسي ذي الزمن الدوري T على التردد التوافقي الثالث ذي الزمن الدوري $T/3$. بعد نهاية جميع الموحين كل منها للآخرى ، تندو الموجة المحصلة كما في شكل (٥ - ٨) وقد ظهر تتابع موجي صغير عند كل دروة ، الموجة منها والسالية . وتتلخ دروة الموجة التوافقيه الثالثه ثلث دروة الموجة الرئيسية .

فلذا اصمنا الان الموجة التوافقية الحامسة ، والتي تلخ دروتها خمس دروة الموجة الرئيسية ، الى الموجة المركبة التي حصلنا عليها في الرسم (١) فلما حصل على الموجة الموصحة في شكل (٥ - ٨) ب | | . ومن الممكن ان نرى كيف يؤدي مجموع الموحات التوافقية الثالثة والحامسة مع الموجه الرئيسية لندء اتحاد شكل الموجة المربعة . فلذا ما استطردنا من تحصيل التوافقيات السابعة والتاسعة والحامسة عشرة وجميع الترددات التوافقية القدره السالية ، والتي تتصاغر قيمتها الواحدة تلو الاخرى .



الموجة الاساسية + التوافقي الثالث + التوافقي الخامس



(ب)

شكل ٥ - A خطوات التركيب الموجي

فإن ذلك يؤدي إلى أن يقرب الشكل الموجي أكثر وأكثر لانحدار شكل الموجة المربعة . ومن الوجهة النظرية ، فلأنه من أصله عدد لانتهى من الترددات التوافقية لكي يتم تركيب موجة مربعة حاصلة .

وتقوم عالمة الأجهزة الموسيقية الإلكترونية بتركيب الأصوات الموسيقية بطريقة مشابهة لما وصف عاليه ، ويتم تحقيق شكلية واسعة من الأشكال الموجية ، والتي لا يحتم أن تكون حبيبية بالضرورة ، حتى بنفسى الوصول إلى مركبات لأشكال موجية أخرى أكثر شيوعاً .

ويعطى كثير من المعدات الإلكترونية أشكالاً للتيار غير حبة الموجة وبالتالي فإنها تمرر كمية كبيرة من الترددات التوافقية العالية بالتيار . ويعسر المسحاق الفلورى مثلاً لواحد من أنواع مولدات التيار بالترددات التوافقية حيث يقوم بتوليد كمية كبيرة من الإشارات الإلكترونية ذات التردد العالي . نادراً لم تتحد الاحتشيطات لكنت هذه التوافقيات ، فمن الممكن أن تؤدي إلى تداخل مع مستقبل المذياع وجهاز التلفزيون . وقد تؤدي سائط المسامع الإلكترونية مثل الثايرستور إلى تحميل مصدر الجهد بشارات ذات ترددات عالية مما قد يؤدي إلى مشاكل تداخل مع الأجهزة الإلكترونية القوية .

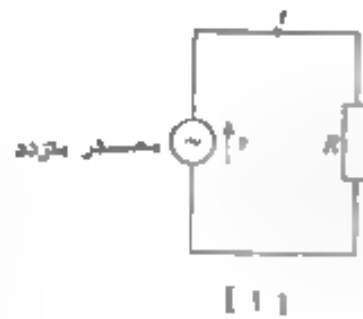
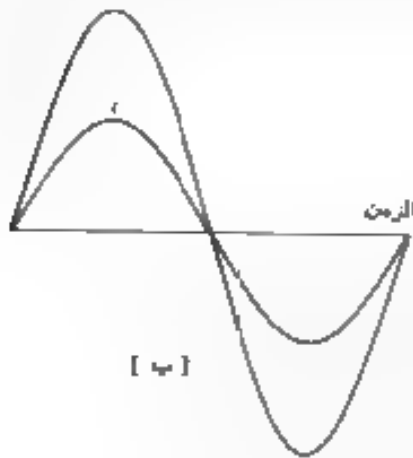
ويسمى عملية تحويل الموجة المربعة ، الموجة المربعة على سبل المثال ، إلى عناصرها التوافقية المكونة باسم التحليل الموجي ، ويتم هذه العملية بواسطة معدات تستخدم مرشحات ذات حساسية للترددات .

الفصل السادس

دوائر التيار المتردد

٦-١ المقاومة في دائرة التيار المتردد

عند تطبيق جهد متردد بين طرفي مقاومة كما في شكل ٦-١ أ فإن التيار المار في الدائرة يتناسب دائماً مع الجهد . بالنظر إلى شكل الموجة لكل من التيار والجهد من جهة الشكل والطور (أنظر شكل ٦-١ ب) .



شكل ٦-١ الشكل الموجي لدائرة تربيده (R.C) يحتوي على مقاوم تقي .

حيث أن كلا من الجهد والتيار لهما نفس الطور فإن التفاضل الانتحالي لهما يكون كما في شكل ٦-١ ج حيث نلاحظ الكيفيات V و I الحضر التربيعي للقيمة المتوسطة لمربع كل كيه لـ (R.M.S) أو القيمة الفعالة للتيار والجهد على الترتيب . ويطبق قانون أوم على هذه الدائرة كالآتي

$$V = IR$$

حيث V و I هي الجذر التربيعي للقيمة المتوسطة لمربع كل من الفولت والتيار ،

إذا وصل بين طرفي مقاومة مقدارها 10Ω جهد قيمته $20 \text{ m V}_{\text{rms}}$ فإن القيمة الفعالة للتيار المار في الدائرة تكون

$$I = \frac{20 \times 10^{-3}}{10} = 2 \times 10^{-3} \text{ A} = 2 \text{ mA}$$

وتكون قيمة القدرة المستهلكة

$$P = VI = 20 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} = 40 \times 10^{-6} \text{ W} = 40 \mu\text{W}$$

٦ - ٢ المحاكاة في دائرة التيار المتردد

عند توصيل محث متي بمصدر متردد فإن التيار المتسبب المار في الدائرة يخلو عن الجهد المسلط بزاوية مقدارها 90° وينتج هذا من القوة الدافعة الكهربية (ق.د.ك) العكسية والمستحثة في الملف عندما يتغير التيار المار في الملف كما سيوضح فيما يلي :

فكر في الفصل الرابع أن الس.ق.د.ك المستحثة دائماً في الملف e هي

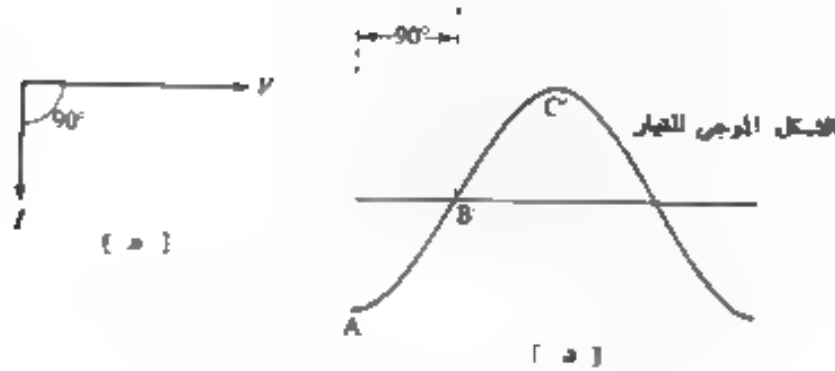
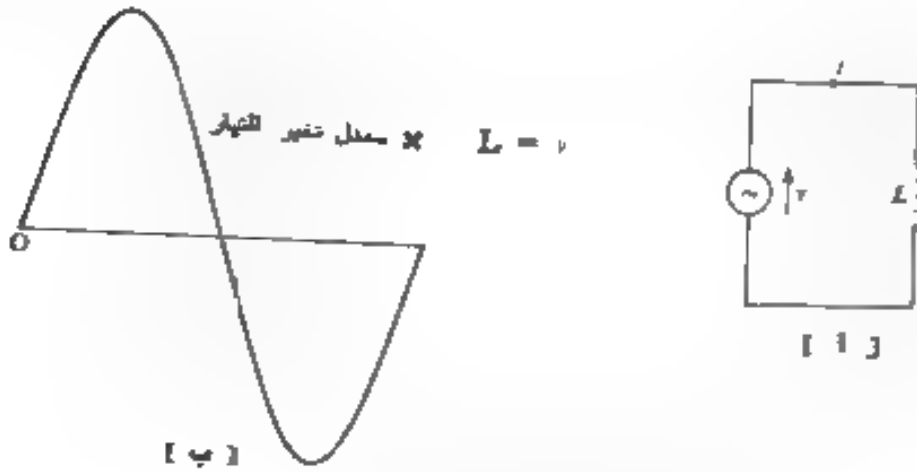
$$e = L \times \text{معدل تغير التيار}$$

في الدائرة المحسوية على محث بحتة فقط ، تكون القيمة اللحظية للس.ق.د.ك العكسية في الملف هي مرق الجهد الوحيد في الدائرة ويساوي القيمة اللحظية للجهد المسلط ، أي

$$V = L \times \text{معدل تغير التيار}$$

يبين شكل ٦ - ٢ [ب] الشكل الموجي للجهد V حينما يكون مصدر الجهد جيبياً وبساطة ، حيث أن L عبارة عن قيمة عددية ثابتة من المعادلة السابقة تكون للمحصى الذي يمثل معدل تغير التيار بنفس زاوية وجه الجهد V كما هو مبين في شكل ٦ - ٢ [د] . لكن نحصل على الشكل الموجي للتيار . نلاحظ نقطة نقطة من المنحنى C . عند النقطة A على المنحنى (C) ، قيمة معدل تغير التيار تساوي صفراً ولكن على يمين لنقطة A مباشرة تكون لها قيمة موجبة وهذا معناه أن ميل منحنى التيار ، المحصى (d) يكون صفراً عند A ولكنه يصبح موجباً على يمين A [أي أن الميل إلى أعلى من الشمال إلى اليمين] . وعند التحرك للنقطة B على المنحنى (C) تتخذ قيمة معدل تغير التيار عند هذه اللحظة قيمتها العظمى . وهذا يملئ أن ميل منحنى التيار [المنحنى d] يكون موجباً وأكبر ما يمكن عند اللحظة

B . وتكون قيمه معدل تغير التيار بين النقطتين (B) . (C) موجبة ولكن قيمتها تتناقص بالتالي يصبح ميل منحنى التيار بين النقطتين المأخوذة أقل حدة تدريجيا ، حتى عند النقطة C يصبح ميل المنحنى يساوى صفرا . وهذا يعنى أن المنحنى يصل عند قيمه الذروي لحظيا . وتصبح قيمة معدل تغير التيار ، على يمين النقطة مباشرة . سالبة على المنحنى (C) ، وهذا يعلى أن ميل منحنى التيار أصبح سالبا . وهكذا نكون ميول منحنى التيار من البعدين الى الشمال حتى يتلاشى في القبة مع الزمن .



شكل ٦ - ٢ معادلة بطة ضمن دائرة تيار متردد

باستمرار المنافسة على الجزء الثاني من المنحنى (C) نحصل على الشكل الموجي لمنحنى التيار (d) الذي هو عبارة عن منحنى جيبي متخلف

عن المحسى (b) مرأويه مدرها 90° . ويوضح شكل ٦ - ٢ [هـ] الملامه بين الجهد والتيار والمناظر لهذه الدائرة .

ملخص . في دائرة التيار المتردد المحبوبة على محاذة بحنة فقط يتخلف التيار عن الضغط المسلط بزاوية مقدارها 90° .

ايضا تحدد الـ . و.د.ك المستحثة في الملف من قيمة لتيار المصاب في الدائرة . وحتى اذا كانت قيمة مقاومه الملف مساوي صغرا من قيمه الـ ق.د.ك المستحثة في الملف تحدد ايضا من قيمة التيار .

وهذا التأثير الحدى في دائرة تحتوي على محاذة بحنة يعرف بمفاعله الحث ويرمز لها بالرمز X_L ، حيث

$$X_L = \frac{V}{I} = 2\pi fL = \omega L \quad \Omega, \text{ ملليهنرى } [\text{ مـ }]$$

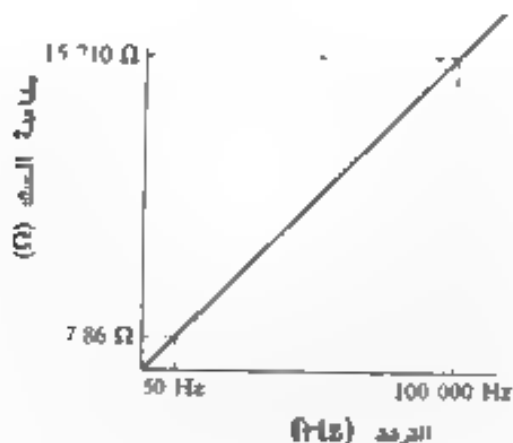
مفاعله ملف دى محاذة مقدارها 25 mH عند تردد 50 Hz

$$X_L = 2\pi \times 50 \times 25 \times 10^{-3} = 7860 \times 10^{-3} = 7.86 \Omega$$

وعند تردد 100 KHz تكون مفاعله الحث مقدارها

$$X_L = 2\pi \times 100 \times 10^3 \times 25 \times 10^{-3} = 15710 \Omega$$

واضح من الحسابات السابقة ان مفاعله الحث يزداد مع التردد . معين شكل ٦ - ٢ | ١ كيميه تعبر مفاعله الملف مع التردد . وكنتيجة لذلك يمتد عمقوصلة محاذة بقيمة معينة ضمن دائرة ملف التيار الذي يسمح بمروره في الدائرة عند التردد المنخفض يكون اكبر من التيار الذي يسمح بمروره عند التردد العالي .



شكل ٦ - ٢ رسم يبين تغير مفاعله الحث لمحاذة مقدارها 25 mH مع التردد

٦-٣ المكثف في دائرة التيار المتردد

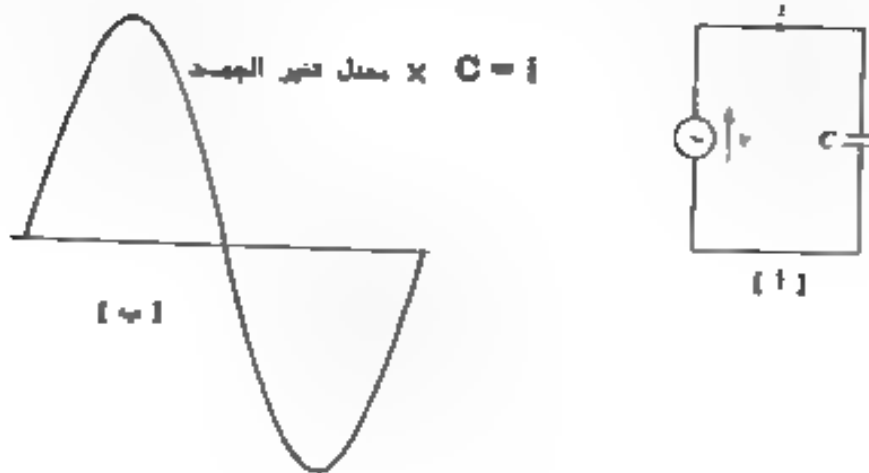
بعد توصيل مكثف بمصدر جيبي متردد كما في شكل ٦ - ١ [أ] فلما نجد ان التيار المار في الدائرة يكون متقدما عن الجهد بزاوية مقدارها 90° .

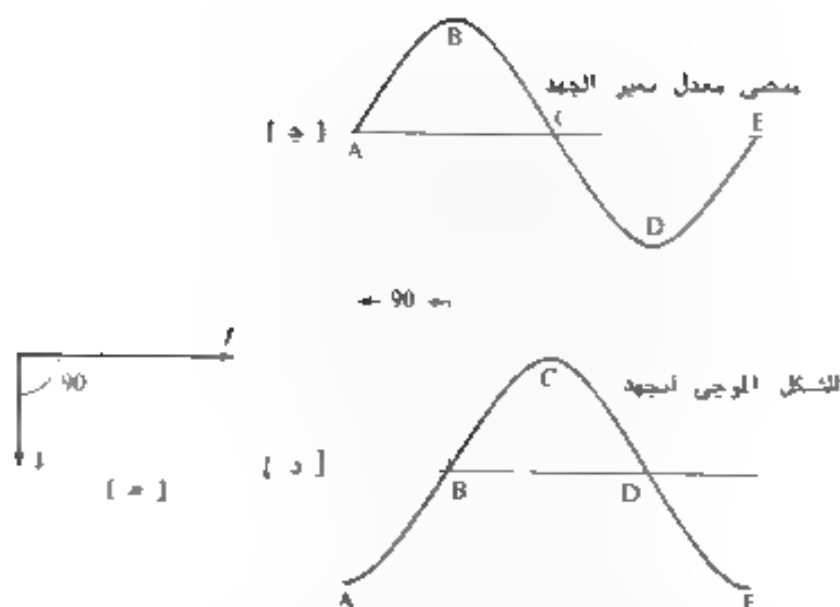
وكما سبق في الفصل الثالث ، تعطى القيمة اللحظية للتيار المار في المكثف بالمعادلة .

$$i = C \times \text{معدل تغير الجهد بين طرفي المكثف}$$

حيث C في المعادلة السابقة عبارة عن مجرد قيمة عددية ، وبالتالي فان الشكل الموجي للتيار [المنحنى B] ومعدل تغير الجهد [المنحنى C] يتماثلان .

يمكن استنتاج الشكل الموجي للجهد بين طرفي المكثف باستخدام تقنية مماثل للذي استخدم في حالة الحثّة. عند اللحظة A في شكل ٦ - ١ [أ] يساوي معدل تغير الفولت بين طرفي المكثف صفرا ويكون موجبا بين القطبين A و C .





شكل ٦ - ١ مكثف في دائرة تيار وتردد

بالتالي فإن ميل محسى المولت عن اللحظة A يكون صفراً وبصح موجبا بين القطبين A و C أى أن ميل محسى الجهد يكون مرابذة على بين القططه A ووصل للصرر عند النقطة B ويكون ميل محسى المولت سالبا بين اسططين C و B أى أن الميل متناقص بعد النقطة C ويكون صفرا عند النقطة D .

بمقارنه الاشكال الموحه لكل من التيار [ب] والمولت [د] . نجد انه فى دوائر التيار المتردد المحتوية على مكثف : ينقسم التيار المتر فى المكثف عن الجهد بين طرفه بزاوية مقدارها 90° . وبوضح شكل ٦ - ٤ [هـ] ميل العلاقة بين كل من التيار والجهد والمناظر لهذه الدائرة .

وتحدد قيمة التيار المار خلال المكثف بحاصية المكثف المعروفة بمعادلة المكثف السعوية ويرمز لها بالرمز X_C حيث

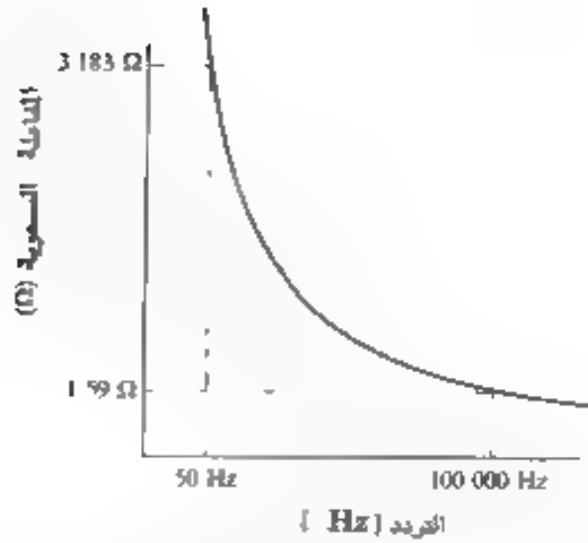
$$X_C = \frac{1}{f} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad (\Omega \text{ in farads})$$

قيمة المعادلة السعوية لمكثف سعته $1 \mu F$ عند تردد قدره 50 Hz هي

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1 \times 10^{-6}} = 1591 \Omega$$

وقيمة المعادلة السعوية عند تردد قدره 100 KHz هي

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} = 1.59 \Omega$$

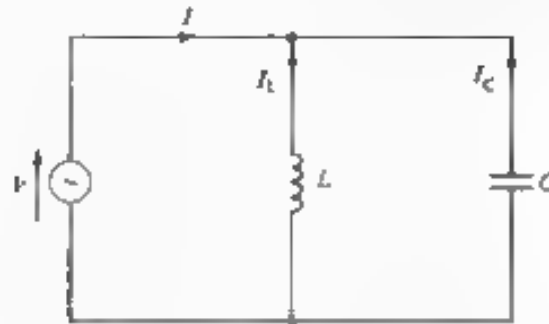


شكل ٦ - ٥ رسم يبين تغير مفاعلة السعة المكثف سعته $1 \mu F$ مع التردد .

واضح ان المفاعلة السعوية تقتصر كلما ازداد التردد . يبين شكل ٦ - ٥ كيفية تغير مفاعلة المكثف مع التردد . وبالعالي فان قيمة التيار المسحوب بالمكثف عند التردد المنخفض تكون اقل من قيمته عند التردد المرتفع .

٦ - ٤ دوائر التوازي المكونة من LC

تستخدم دائرة التوازي المبينة في شكل ٦ - ٦ المكونة من LC مكترة في النظم الالكترونية . في هذه الدائرة التيار الكلي المسحوب من المصدر I

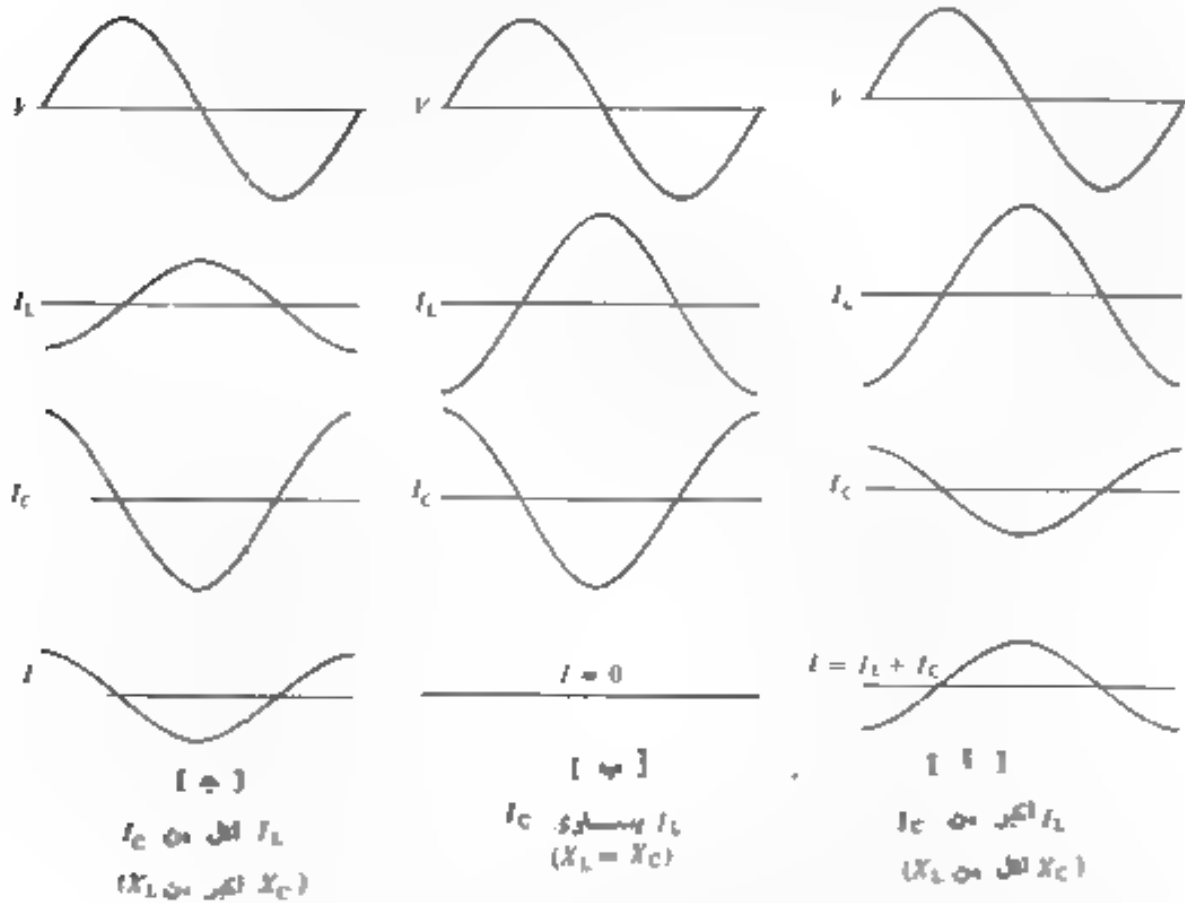


شكل ٦ - ٦ دائرة توازي مكونة من LC

يسلوي مجموعتي التيارين المعريين I_L و I_C . يوجد ثلاث حالات لطرق تشغيل هذه الدائرة هي :

- [أ] I_L اكبر من I_C
- [ب] I_L يساوي I_C [رنين توازي]
- [ج] I_L اقل من I_C

الشكل الموجية لهذه الحالات الثلاث معببة بشكل [٦ - ١] و [١] و [ب]
و [ج] على الترتيب . والآن ، سناخذ في الاعتبار كل دائرة على حدة .



شكل ٦ - ٧ الشكل الموجية لدائرة التوازي عند قيم مختلفة لكل من X_L و X_C

I_L أكبر من I_C شكل [٦ - ٧] أ في هذه الحالة ، تكون قيمة مفاعلة الحث X_L أقل من مفاعلة المكثف X_C كما وصح في الإجراء السابق ، يحلف التيار I_L المار خلال الملف عن الجهد المسلط طرفيه بزاوية مقدارها 90° . بينما يتقدم التيار I_C المار خلال المكثف عن الجهد المسلط بين طرفيه بزاوية مقدارها 90° . بالتالي تصاد الأشكال الموجية لكل من I_L و I_C بعضها البعض [اختلاف الطور 180°] . ويساوي التيار I المسحوب بدائرة التوازي مجموع التيارين I_L و I_C وبالتالي سنستطيع الحصول على الشكل الموجي للتيار I بمجموع موجتي التيارين I_L و I_C عند زاوية طور مقدارها 0° ، فإن قيمة التيار I_L تكون سالبة وكبيرة وقيمة التيار I_C تكون صغيرة وموجبة وبالتالي قيمة التيار I تكون سالبة وأقل من I_L . عند زاوية مقدارها 90° تكون قيم كل من I_L و I_C صفرا وبالتالي تكون قيمة I صفرا . عند 180° ، تكون قيمة التيار I_L كبيرة وموجبة وتكون قيمة التيار I_C صغيرة وسالبة ونتيجة لذلك تكون

قيمة التيار I كبيرة وموجبة ولكن اقل من I_L . بمقارنة الشكل الموجي للتيار I بالشكل الموجي للتيار I_L نجد أن لتيارهما نفس زاوية الوجه [الطور] وكلاهما متأخر عن جهد المصدر بزاوية قدرها 90° . ومن الواضح أن التيار المسحوب بالدائرة تحت هذه الظروف يتخلف عن جهد المصدر بزاوية قدرها 90° وسدو دائرة التوازي للمصدر وكأنها ملف محثية .

I_C تساوي I_L شكل ٦ - ٧ [ب] . عندما تكون قيم I_C و I_L متساوية فإن الاشكال الموجي تلمس بعضها البعض ولا يبد المصدر أي تيار للدائرة . ومن أول وهلة ، يبدو هذا القول غير مستساغ ، حيث أن التيار لابد أن يمر في كل من المكثف وملف المحث عند توصيل كل منهما لمصدر الجهد . وسيوضح هذا التناقض الظاهري فيما يلي :

عندما تكون الدائرة في حالة استقرار نجد أن المكثف يفرغ طاقته في الوقت الذي يحتزن ملف المحث طاقته والعكس بالعكس وبالتالي يحدث تبادل مستمر للطاقة أثناء عملية التبادل بالنسبة للدوائر التي لا تحتوي على أي مقاومة . وحيث أنه لا توجد طاقة مفقودة في مثل هذه الحالة ، فلا يمكن أن سحب أي قدرة [أو شار] من الدائرة الخارجية . وبالتالي فإن دائرة التوازي المثالية والمكونة من LC عند الرنين تكفي دائرة مفتوحة ومن بعض الأحيان توصف بأنها دائرة ترشيح [رنص] حيث أنها ترفض تيار المصدر عند الرنين .

إذا كانت قيمة كل من I_C و I_L متساوية عند تردد ما في دائرة توازي معية ، يعرف هذا التردد بتردد الرنين ويرمز له بالرمز f_0 . عند هذا التردد تكون قيمة X_L تساوي قيمة X_C بحيث أن

$$X_L = X_C \quad \text{أو}$$

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad \text{حيث}$$

$$4\pi^2 f_0^2 = \frac{1}{LC} \quad \text{لذلك}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [L \text{ بالهنري و } C \text{ بالفاراد }]$$

وتصل دائرة التوازي المكونة من ملف محثية مقداره $1mH$ ومكثف سعته $1mF$ لحالة الرنين عن تردد مقداره

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{[(1 \times 10^{-3}) \times (1 \times 10^{-6})]}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-9}}} \\ = 0.159 \times 10^4 \text{ Hz or } 159 \text{ kHz}$$

ولا توجد دائرة الرنين المثالية الماسقة ففي الحياة العملية حيث أن الملف والوصيلة المصاحبة لدائرة التوازي لها مقاومات مدمجة ونتيجة لذلك توجد طاقة مفقودة في الدائرة أثناء تبادل الطاقة بين L و C . وتذهب هذه الطاقة المفقودة لدائرة التوازي في صورة ميلر متكرر . يكون في المصباح صغير القيمة . وللاستدلال على قيمته في دائرة ما يستعان برقم الاستحقاق للدائرة والذي يعرف بالمعامل Q أو عامل الجودة .

يجب أن تكون فيه معامل الجودة Q أكبر ما يمكن وهو يعطى النسبة بين التيار المسحوب من المصدر إلى التيار الدائر داخل دائرة التوازي في حالة الرنين .

$$I_C = I_L = Q \text{ المعامل}$$

تتراوح قيمة معامل الجودة Q للدوائر الرنانة عند المرددات اللاسلكية بين 50 إلى 250 وتعتبر الدوائر التي معامل حودتها حوالي 150 . مرتفعة الجودة . وبموجب الحصول على معامل الجودة أكبر من 50 في المرددات السميكة . لكن يكون معامل جودة مرتفع في الدائرة لابد أن تكون نسبة محثة الملف إلى المكثف [النسبة L/C] كبيرة القيمة .

وتستعمل دوائر التوازي المحتوية على LC بكثرة في مكبرات الموائف التي تتعرض في الباب ١١ وتستعمل أيضا في بعض المتنبكات .

— I_L أقل من I_C شكل ٦ - ٧ [ج] . في هذه الحالة يكون التيار المار في فرع المكثف أكبر من التيار المار في فرع ملف الحث . والسبب النهائي هو أن الدائرة تسحب تيارا متغيرا عن مصدر الجهد بزاوية مقدارها 90° .

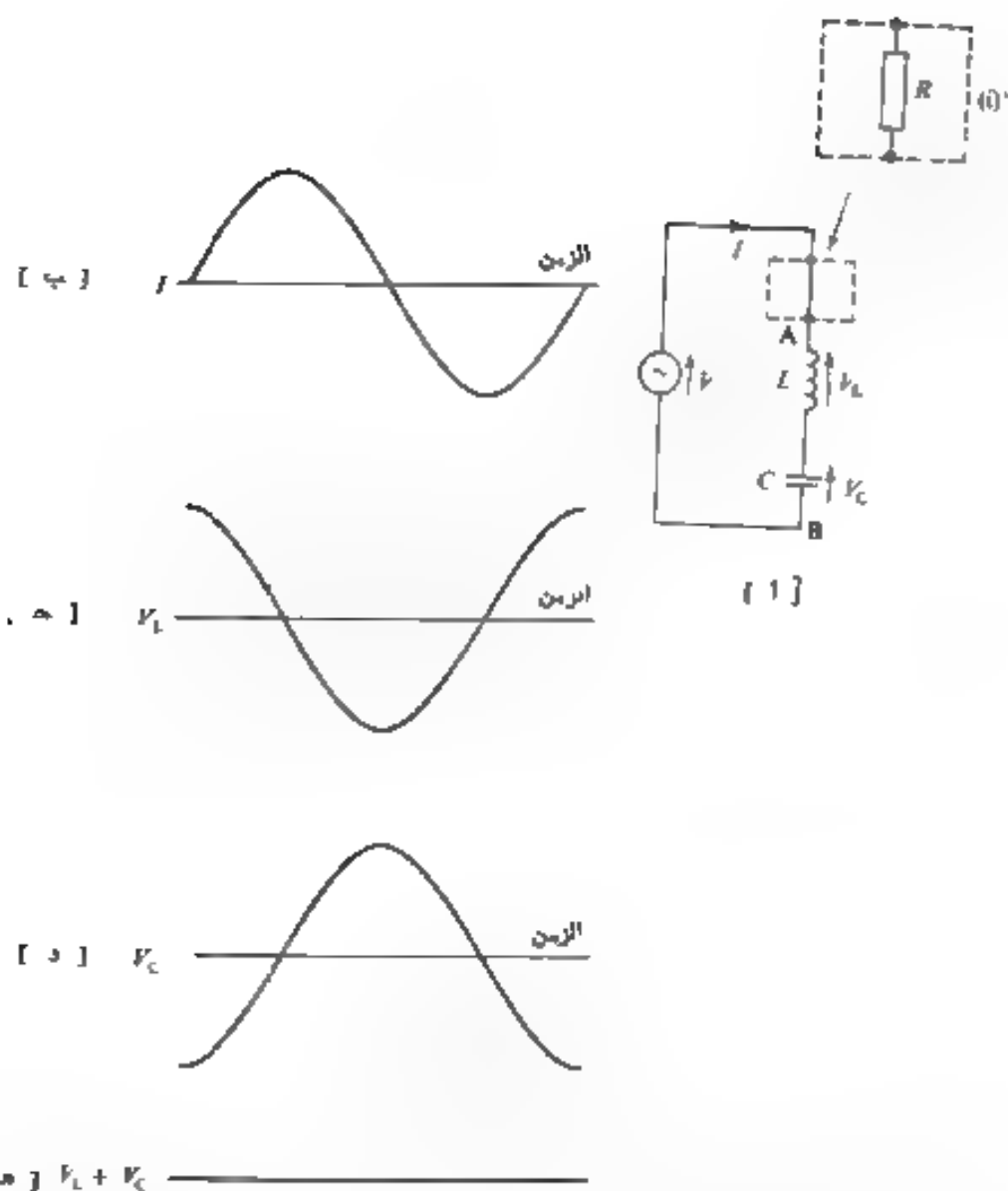
٦ - ٥ دائرة الرنين المتصلة على التوالي

يحدث الرنين في دائرة التوالي بطريقة متشابهة للتي تحدث في دائرة التوازي . بمعنى آخر أن الدائرة تكون رنانة عندما تكون قيمة مفاعلة الحث مساوية لمفاعلة المكثف أي أن $X_L = X_C$. وبالتالي فل تردد الرنين لكل من دائرة التوالي والتوازي يكون

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{LC}] \text{ Hz}$$

كما ورد سابقا ، فل تردد الرنين لدائرة توالي تحتوي على ملف ذي محثية مقدارها 1 mH ومكثف سعته 1 M F هي 159 k Hz .

يوضح الشكل ٦ - ٨ [أ] دائرة رنين متصلة على التوالي ولا تحتوي أي مقاومات مع الإشكال الموجبة المصاحبة لها من [ب] إلى [هـ] ماذا ما كانت مكونات الدائرة مثالية

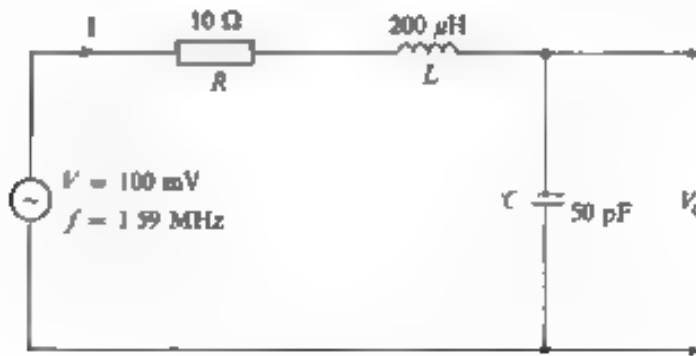


شكل ٦ - أ دائرة الرنين المتوازية LC

فإن الجهد بين طرفي الملف V_L متقدم التيار المار براوية قدرها 90° بينما يتخلف الجهد بين طرفي المكثف V_C عن التيار المار بزاوية مقدارها 90° تتساوى مفاعلة كل من الملف والمكثف عند حالة الرنين ويمر بكل منهما نفس التيار . وبناء عليه ، يتساوى الجهد بين طرفي كل من ملف المحث والمكثف ويضاد كل منهما الآخر . [انظر الشكل ٦ - د ، هـ] ونحصل على فرق الجهد الكلي بين طرفي الدائرة بجمع الشكلين الموجبين للجهدين V_L و V_C كما هو موضح بالشكل ٦ - أ [هـ] . وبمعنى آخر يصبح فرق الجهد بين النقطتين A و B في شكل ٦ - أ [أ] في حالة الرنين .

مسلوبيا للصفر . وهكذا فإن دائرة L C على التوالي ، المثالية تكافئ دائرة
في حالة قصر .

وخلاصة القول ، أن تيارا في غاية الشدة يمر في حالة الرنين . ومن
الناحية العملية فالدائرة لها مقاومة ما مقدارها R يمكن السماح بتدراجها
في الوصل (ii) في الدائرة بالشكل ٦ - ٨ [١] وهذه المقاومة بالذات هي
التي تحد من قيمة التيار المسحوب من المصدر لتصبح قيمته دائما V/R أمبير.
في حالة الرنين وتسمى دوائر الرنين ، المتصلة على التوالي ، أحيانا
بالدائرة المقبلة لأنها تتقبل أكبر قيمة تيار ممكن من المصدر في حالة الرنين .



شكل ٦ - ٩ دائرة القابل المتكسر

فإذا اعتبرنا دائرة التوالي الموضحة بالشكل ٦ - ٩ . ونصبح الدائرة
في حالة رنين عند تردد قدره .

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{LC}] = 1/[2\pi \times \sqrt{(200 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-12})}]$$

$$= 1/[2\pi \times \sqrt{10^{-14}}] = 1.59 \times 10^6 \text{ Hz or } 1.59 \text{ MHz}$$

عند هذا التردد

$$X_L = 2\pi f_0 L = 2\pi \times 1.59 \times 10^6 \times 200 \times 10^{-6} = 2000 \Omega$$

$$X_C = 1/2\pi f_0 C = 1/(2\pi \times 1.59 \times 10^6 \times 50 \times 10^{-12}) = 2000 \Omega$$

وفي حالة الرنين تحدد شدة التيار المار في الدائرة بقيمة مقاومة الدائرة
وحدها وتكون قيمته

$$I = V/R = 100 \times 10^{-3}/10 = 10 \times 10^{-3} \text{ A or } 10 \text{ mA}$$

ويصبح الجهد بين طرفي ملف المحلة

$$V_L = IX_L = 10 \times 10^{-3} \times 2000 = 20 \text{ V}$$

ويكون الجهد بين طرفي المكثف

$$V_C = IX_C = 10 \times 10^{-3} \times 2000 = 20 \text{ V}$$

وحيث أن قيمه جهد المصدر تبلغ $0.1V$ فقط ، فلنأخذ أن الجهد بين طرفي كل من الملف والمكثف L و C في حالة الرنين ، أكبر من جهد المصدر بمعامل قدره $200/0.1 = 200$ مرة ويبلغ الجهد بين طرفي كل من الملف والمكثف قيمة أقل بكثير من هذه القيمة .

ويعطي معامل الجودة Q لدائرة التوالي معلومات حول تكبير الجهد الناتج بالدائرة كالآتي :

$$\text{معامل الجودة } Q = \frac{\text{الجهد بين طرفي } L \text{ أو } C}{\text{جهد المصدر}} = \frac{1}{2\pi f_0 CR} = \frac{2\pi f_0 L}{R}$$

بنطبق القيم الخاصة بالدائرة الموضحة في شكل ٦ - ٨ نحصل على :

$$\text{معامل الجودة } Q = 2000/10 = 200 = 2\pi f_0 L/R$$

٦ - ٦ مقارنة بين رنين دوائر التوازي ورنين دوائر التوالي

يوضح الجدول التالي الخصائص الرئيسية والاحتلافات الجوهرية بين نوعي دوائر الرنين .

رنين دوائر التوالي	رنين دوائر التوازي	
مطلبة كبيرة مقابل الجهد	كبيرة قليل وأفضل التيار	المساواة لسريان التيار التيار المسحوب من المصدر الأم الكمية المكملة بالدائرة

٦ - ٧ معاوقة دوائر التيار المتردد

معاوقة الدائرة الكهربائية ما هي إلا المحصلة النهائية لما يعترض سريان التيار ويرمز لها بالرمز Z . لذلك

$$Z = \frac{V}{I} \Omega$$

حيث V هي الجذر التربيعي للقيمة المتوسطة لربع الجهد المسلط بين طرفي الدائرة و I الجذر التربيعي للقيمة المتوسطة لربع التيار وتكون %

معاوقة الدائرة نتيجة لتأثير كل من المقاومة ومعاوقة الحث والمعاوقة السعوية . وفي حالة دائرة متصلة على التوالي بمطى المعاوقة بالمعادلة .

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

كمثال ، إذا اتحدت دائرة متصلة على التوالي القيم

$$V = 20 \text{ mV} \text{ و } R = 50 \Omega \text{ و } X_C = 200 \Omega \text{ و } X_L = 1000 \Omega$$

$$Z = \sqrt{50^2 + (1000 - 200)^2} = 802 \Omega$$

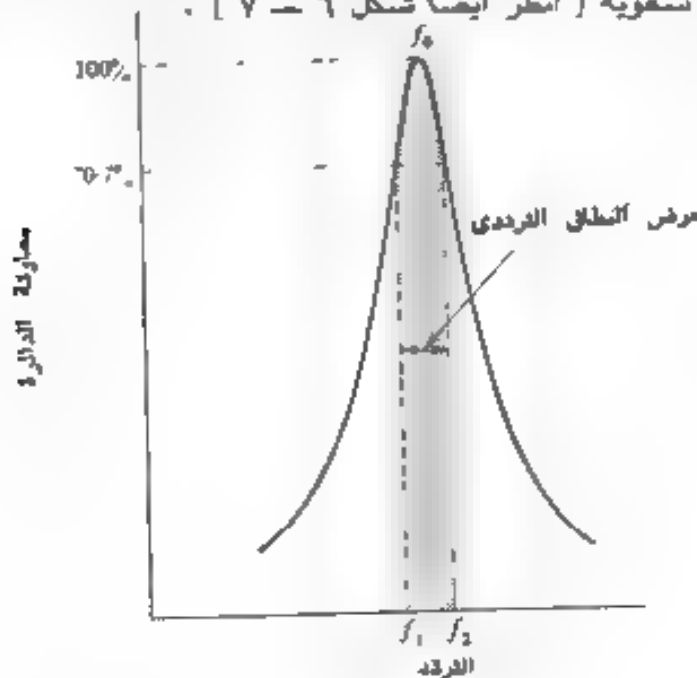
لأن

$$I = V/Z = 20 \times 10^{-3}/802 = 0.025 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.025 \text{ mA or } 25 \mu\text{A} \text{ و}$$

٦ - عرض النطاق الترددي لدائرة رنين

يوصف عرض النطاق الترددي لدائرة رنين كطلي و مدى الترددات الذي يمكن أن تستجيب له الدائرة .

يبين شكل [٦ - ١٠] تغير معاوقة دائرة التوالي مع التردد . عند تردد أقل من القيمة من تردد الرنين ، تكون معاوقة الدائرة عبارة عن معاوقة حثية (انظر أيضا شكل [٦ - ٧] . وكلما ازداد التردد ازدادت قيمة المعاوقة أيضا حتى تصل الى أكبر قيمة لها عند تردد الرنين f_0 . عند هذا التردد يكون سلوك الدائرة كما لو أنها مقاومة بحتة . وعند ازدياد تردد المصدر أكثر من ذلك تنحصر قيمة المعاوقة ويصبح سلوك الدائرة كما لو أنها سعوية (انظر أيضا شكل [٦ - ٧] .



شكل ٦ - ١٠ عرض الاستجابة لدائرة توازي

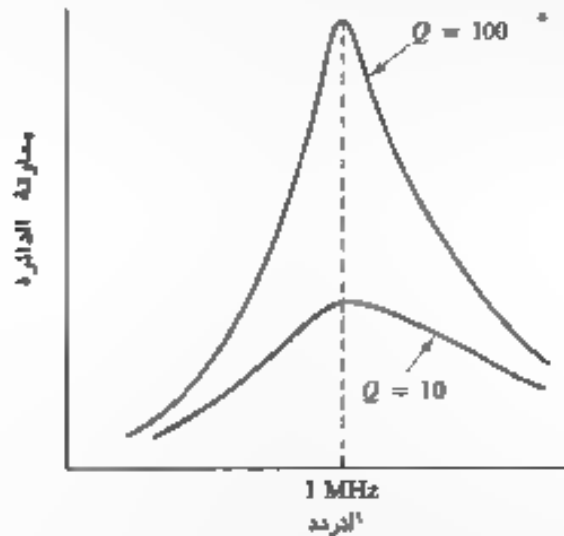
عرض النطاق الترددي لدائرة مواري [انظر شكل ٦ - ١٠] هو نطاق الترددات التي تكون فيها معاوقة الدائرة اكبر من 70.7% من القيمة العظمى . ويمثل انحراف f_1 في شكل [٦ - ١٠] قيمة التردد المنخفض والتي يصبح عندها قيمة المعاوقة مساوية لـ 70.7% من قيمة المعاوقة في حالة الرنين ، وتعرف بتردد القطع المنخفض ، ويمثل التردد f_2 قيمه تردد القطع المرتفع والتي تصبح عندها قيمة المعاوقة مساوية لـ 70.7% من قيمتها في حالة الرنين .
عرض النطاق الترددي B للدائرة هو

$$B = f_2 - f_1 \text{ Hz}$$

ويمعنى عرض النطاق الترددي للدائرة ايضا بالملاقة

$$B = \frac{f_0}{Q} \text{ Hz}$$

حيث Q هو معامل الحودة لدائرة الموازي . اذا ما بلغ تردد الرنين لدائرة توازي بمقدار 1 MHz وكان معامل الحودة لها 100 فان عرض نطاقها الترددي يبلغ .



شكل ٦ - ١١ بيان العلاقة بين المعامل والقياس لدائرة ترددية من وجه واحد

الحصول على احسن انتقاء من دائرة ذات معامل جودة مرتفع

تكون ترددات القطع المنخفضة والمرتفعة في هذه الحالة حوالي 9.95 kHz و 10.05 kHz على الترتيب وبالسعة لدائرة رنين توازي لها نفس تردد الرنين السابق ولكن قيمة معامل الحودة لها هو 10 يكون عرض النطاق الترددي لها هو $1000000/10 = 100000 \text{ Hz}$ او 100 kHz . ويوضح شكل ٦ - ١١ منحنيات استجابة التردد لهاتين الدائرتين ، حيث نحصل على احسن انتقاء من الدائرة ذات معامل الجودة المرتفع .

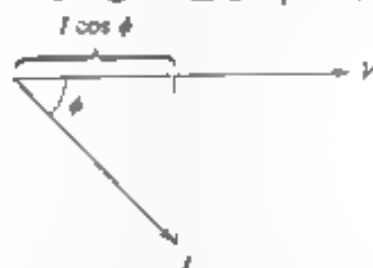
٦ - ١ القدرة المستهلكة في دائرة تيار متردد

في دائرة ترددية من وجه واحد ، يوضح الشكل ٦ - ١٢ بيان العلاقة بين الجهد والتيار ، حيث تفصل بينهما زاوية طور ϕ . وتعطى القدرة المستهلكة في الدائرة بالعلاقة .

القدرة = P = المولت \times مركبة التيار المتطابقة المولت

$$V \times I \cos \phi =$$

حيث ϕ هو جيب تمام الزاوية التي بين V و I



شكل ٦ - ١٢ . بيان العلاقة بين الجهد والتيار لدائرة ترددية ذات طور واحد

وسين الجدول ١ - ٦ تأثير قيمه زاوية الطور على القدرة المستهلكة في الدائرة والتي تسحب تياراً قدره 5A من مصدر جهد 240 V .

جدول ١ - ٦ تأثير زاوية الطور على القدرة المستهلكة

الطاقة المستهلكة $V I \cos \phi$ وات $= 240 \times 5 \times \cos \phi = 1200 \cos \phi$	$\cos \phi$	زاوية الطور ϕ
1200	1.0	0°
1039	0.866	30°
600	0.5	60°
0	0	90°

يوضح الجدول ان القدرة المستهلكة تقل تدريجياً كلما ازدادت زاوية الطور [زاوية الطور يمكن في الحقيقة ان تكون متقدمة أو متخلفة] من صفر الى 90° ولا توجد قدرة مستهلكة عندما تكون زاوية الطور 90° .

وتعرف القيمة $\cos \phi$ بمعامل القدرة للدائرة وتعطى بالمعادلة

القدرة المستهلكة بالموات

$$\text{معامل القدرة} = \cos \phi = \frac{\text{القدرة المستهلكة بالموات}}{\text{المولت} = \text{امبير المستهلكة}}$$

ويوصف استهلاك الفولت - امبير (VA) في الدائرة بأنها باستهلاك القدرة الظاهرة . وتمثل وحدات الوات المستهلكة القدرة الحقيقية او القدرة الفعالة المستهلكة . وتعنى الفيه المرتفعة لمعامل القدرة أن جزءا كبيرا من استهلاك الـ VA ، قد تم الانتفاع به في الدائرة .

٦-١٠ الديسيبل

كسب الجهد هو رقم استحقاق مهم للمكبر الالكتروني وتبلغ القيمة العددية لكسب الجهد للمكبر داخل الصندوق الاسود بالشكل (٦ - ١٢) .

$$\text{كسب الجهد} = A_v = \frac{\text{قيمة جهد الخرج}}{\text{قيمة جهد الدخل}} = \frac{V_2}{V_1}$$

فإذا كانت قيمة V_1 هي 10 m V r.m.s وقيمة V_2 هي 1 V r.m.s ،
اذن قيمة كسب الجهد هي

$$A_v = V_2/V_1 = 1/10 \times 10^{-3} = 100$$



شكل ٦ - ١٢ رسم تخطيطي للمكبر

وفي تطبيقات الكترونية كثيرة، يعبر عن كسب الجهد في شكل لوغاريتمى وتكون وحدته الديسيبل [يسمى باسم بعد العالم (Alexander Graham Bell) ويرمز لها بوحدة الـ dB] . يعبر عن كسب الجهد للمكبر بنسبة لوغاريتمية كما على :

$$\text{كسب الجهد بالديسيبل} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \text{ dB}$$

حيث $\log_{10} A_v$ هو لوغاريتم للاساس 10 [اللوغاريتم الشائع] للقيمة A_v . فإذا بلغت القيمة العددية لكسب A_v مقدار 100 فإن كسب الجهد للمكبر بالديسيبل هو

$$20 \log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$$

أما اذا كانت قيمة A_v هي الوحدة فإن كسب الجهد اللوغاريتمى

$$20 \log_{10} 1 = 20 \times 0 = 0 \text{ dB}$$

اذا ، كسب الجهد الذي قيمته صفر يعني أنه لا يوجد تغير في مستوى الجهد بين محل وخرج المكبر [أى أن $V_2 = V_1$]

إذا كانت قيمة A_v أقل من الواحد [V_2 أقل من V_1] فيمكن حساب القيمة اللوغاريتمية لكسب المولت كالآتي :

$$\begin{aligned} \text{كسب الجهد بالديسيبل} &= 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \\ &= 20 \log_{10} \left(\frac{1}{V_2/V_1} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{0.1} \right) \end{aligned}$$

كمثال . إذا كان $V_2 = 0.02 \text{ V}$ و $V_1 = 0.2 \text{ V}$ ، فإن $V_2/V_1 = 0.02/0.2 = 0.1$

وتأخذ القيمة اللوغاريتمية لكسب المولت القيمة التالية :

$$20 \log_{10} \frac{1}{0.1} = 20 \log_{10} 10 = -20 \times 1 = -20 \text{ dB}$$

ونقل قيمة كسب الجهد الحدية عن الوحدة لأنواع معينة من المكبرات مثل دوائر باع الجهد كما سيوضح في الفصلين الثالث عشر والرابع عشر. وهناك بعض الأنواع الأخرى من الدوائر ، مثل خطوط الإرسال وشبكات اصطلاح المولت [تعرف بالموهومات] يكون كسب الجهد لها ، أيضاً أقل من الواحد .

وتعطي الإشارة لحسابية التي يملكها القيمة اللوغاريتمية لكسب الجهد المعلومات الآتية :

إشارة موجبة : القيمة المدخلة لكسب الجهد تكون أكثر من الواحد

إشارة سالبة : القيمة المدخلة لكسب الجهد تكون أقل من الواحد

إذا طُعت القيمة اللوغاريتمية لكسب الجهد صفراً فإن القيمة العددية لكسب الجهد تكون واحداً .

الفصل السابع

المحولات

المحول هو نبيطة لتحويل القدرة المتغيرة أو المتقطعة ، عن طريق الحث الكهرومغناطيسي من مستوى معين لمستوى آخر ، سواء بالنسبة للجهود أو التيار . ولاشك ان القارئ على دراية باستخدام المحولات في شحكات القوى الكهربائية وعلى مستويات عالمة من الجهد والقدرة . وسيعرض في هذا الكتاب بصفة مبدئية للمحولات المستخدمة في التطبيقات الالكترونية والتي لها قدرة مقبولة تتراوح ما بين الواط الواحد الى بضع وحدات من الواط .

٧-١ فكرة عمل المحول

يتكون المحول من عدد من الملفات المملوءة على قلب مغناطيسي مشترك ، وتتواصل هذه الملفات عن طريق الفيض المغناطيسي التبادلي [المشترك] . ويعرف الملفات المتقاربة مغناطيسيا بهذه الطريقة ، بالتقارب الساذلي . ولكي يستحث الفيض المغناطيسي ق.د.ك في الملف ، فلا بد ان يكون الفيض متغيرا مع الزمن . واذا ما أحدث هذا الفيض المتغير بواسطة ملف آخر متقارن تبادليا مع الملف الاول فان المعادلة التي تربط ، قيمة الـ ق.د.ك التبادلية والمستحثة ، مع معدل تغير الفيض التبادلي هي :

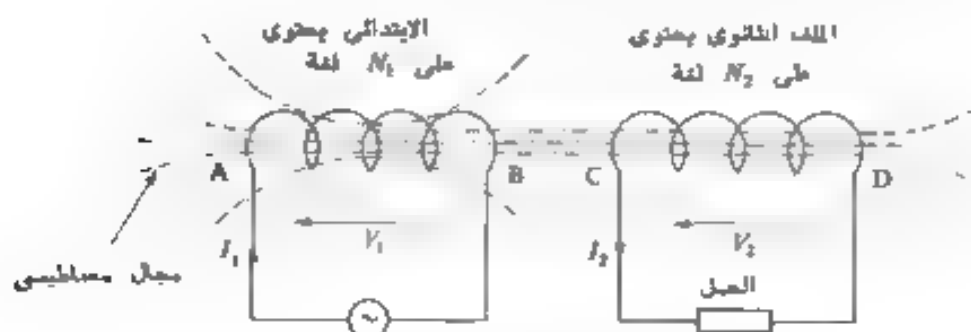
$$e = N \times \frac{d\Phi}{dt}$$

حيث N عدد لفات الملف المستحث بها الـ ق.د.ك و Φ الفيض المغناطيسي المترابط مع الملف ، $d\Phi/dt$ هي الطريقة المختصرة للتعبير عن معدل تغير الفيض المتواصل .

فاذا تغير الفيض المغناطيسي المصاحب لملف عدد لفاته 1000 لفة بمعدل 0.04 ويبر لكل ثابته ، فان قيمة الـ ق.د.ك التبادلية المستحثة بالملف هي :

$$e = 1000 \times 0.04 = 40 \text{ V}$$

فإذا كانت قيمة الفيض الموصل مع الملف لها قيمة ثابتة ، أى أنها لا سمير ، فإن قيمة الجهد السادلي المسحث فى الملف تصبح صفرا .
وموضح شكل ٧ - ١ محول ذو ملفين ، ملف ابتدائي موصل بمصدر القدرة أو مصدر إشارة الدخل .



شكل ٧ - ١ أساس المحول

[نذكر أننا نتعامل فى علم الإلكترونيات مع مستويات من القدرة فى حدود المئى وات فقط] ، هذا ويوصل الحمل بالملف الثانوي . ولكى يمكن نقل القدرة بين الملفين ، ملائمة أن يتغير الفيض المغناطيسى بطريقة أو أخرى وبصلة مستمرة حتى تستحث ق.د.ك فى الملف الثانوي . ولا يستلزم الأمر أن يكون ، الشكل الموحى للجهود المسلط على الملف الابتدائي حيبيا [وندرا ما يكون حيبيا فى الدوائر الإلكترونية] ولكن من الأنسب من شرحنا أن نعرض موجة جيبية .

عند تسليط جهد حيبى على ملفات المحول الابتدائي ، نجد أن الشكل الموحى للجهود المسحث فى الملف الثانوي يشع نفس الشكل الحسى . ويعتمد بيان العلاقة بين جهدي الملف الابتدائي والثانوي على تركيب وتوصيلات الملف . مثلا ، من الممكن أن تكون ق.د.ك للملف الثانوي ، بين القطبتين C و D شكل ٧ - ١ ، فى نفس أو عكس اتجاه جهود الملف الابتدائي بين القطبتين A و B وكثيرا ما يستخدم المحول كتسبلة عازلة بين دائرتين فى الدوائر الإلكترونية ، عندما تكون زاوية الطور بين الجهود ليست ذات أهمية . وفى حالات أخرى مثل حلة استغذية المرندة والمفندسات [انظر الفصل ١٢] ، تكون معرفة زاوية الطور بين الجهدين الابتدائي والثانوي ذات أهمية بالغة .

عند شرح عمل المحولات فإنه توجد أرقام استحقاق ذات أهمية مثل النسبة بين عدد اللفات والنسبة بين الجهدين كما مستأقش فيما يلى
نسبة اللفات : أن القاعدة الرئيسية لفكرة عمل المحول التبدوي هي أنه عند توصيل الملف الثانوي للحمل ، فإن كلا من الملفات الابتدائية والثانوية تعطى نفس العدد من الأمبير - لفه . لذلك

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ لفة - أمبير}$$

حيث N_1 و N_2 عدد لفات الملف الابتدائي والثانوي على التوالي و I_1 و I_2 قيم الجذر التربيعي لمربع القيم المتوسطة للتيارات . ومن الملاحظة العملية يجب أن يكون الأمبير — لفة للملف الابتدائي أكثر من الأمبير — لفة للملف الثانوي لأنه يحمل التيار المغنط للمحول بالاصافة الى مد الطاقة التي يستهلكها الملف الثانوي .

نسبة لفات المحول هي نسبة عدد لفات الملف الثانوي الى عدد لفات الملف الابتدائي .

$$\text{نسبة الملفات} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (٧-١)$$

اذا كانت نسبة الملفات اقل من الواحد يعرف المحول بمحول خفض الجهد أما اذا كانت نسبة الملفات اكبر من الواحد ، فيعرف المحول بمحول رفع الجهد .

نسبة الجهد : المحول النموذجي لا يسرب أى طاقة وتكون كفاءته ١٠٠٪ وفي هذه الحالة تسوى الطاقة المعطاة بالملف الابتدائي ما يستهلكه الحمل من طاقة - أى أن

$$V_1 I_1 \cos \phi_1 = V_2 I_2 \cos \phi_2$$

مرة أخرى ، بالنسبة للمحول النموذجي ، ويكون

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

(٧-٢)

أو

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

ومن ضمن مواصفات محول القوى الكهربائية ، هناك خاصية تتضمن كفاءة القدرة التقديرية [المقاسة] له بالأمبير فولتوليس بالوات . وهذه الطريقة لتوصيف القدرة التقديرية تضع حدا اعلى لقيمة التيار الذي يمكن سحبه من المحول بنظر من معادل قدرة الحمل . وهكذا ، فإن المحول المقنن 10 VA وتقييم الجذر التربيعي للقيمة المتوسطة لمربع الجهد الثانوي 0 V r.m.s يمكن أن تعطى أكبر تيار مقداره 1 A عند أى معادل قدره .

المعادلة العامة للمحول : بربط المعادلات [٧-١ و ٧-٢] ينتج

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (٧-٢)$$

من المعادلة السابقة يمكن استنتاج

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

أي أن عدد وحدات الفولت لكل لفة ، تتساوى للملفين الابتدائي والثانوي وحتى إذا احتوى المحول على بضع لفات ثلثوية ، على العلاقة السابقة نعتبر صحيحة ، حيث أن عدد وحدات الفولت لكل لفة هو رقم ثابت لكل من الملفين .

مثال ٧ - ١ : محول جهد يستخدم مع عدد من المعدات الإلكترونية ، يعمل عند 350 V r.m.s فإذا كان جهد الملف الثانوي مقداره 350 V r.m.s

وكان عدد لفات الملف الابتدائي ٢٠٠ لفة ، احسب عدد لفات الملف الثانوي
الحل باستخدام المعادلة [٧ - ٣] ، نجد أن

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

أو

$$\frac{N_2}{200} = \frac{350}{250}$$

إذن

لغة

$$N_2 = \frac{350}{250} \times 200 = 280$$

لاحظ أن للمحول نسبة رفع قيمتها 350/250 = 1.4

مثال ٧ - ٢ : إذا أعطى المحول المذكور في المثال [٧ - ١] تيارا ثانويا قيمته 100 mA .

احسب قيمة التيار الابتدائي مع أعمال القدرة المفقودة في المحول .

الحل : مرة أخرى ، باستخدام المعادلة [٧ - ٣]

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

أو

$$\frac{350}{250} = \frac{I_1}{100}$$

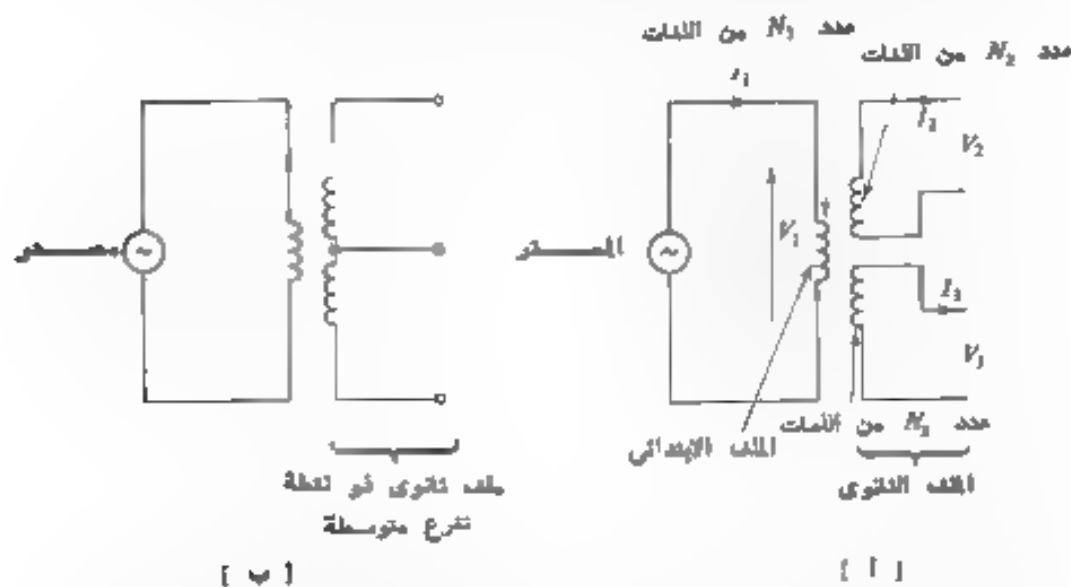
بتعديل موضع المعادلة لإيجاد

$$I_1 = 100 \times \frac{350}{250} = 140 \text{ mA}$$

ولملاحظ انه بينما يكون المحول نسبة رفع للجهد ، فإن له نسبة خفض للتيار من 140 mA الى 100 mA . وفي الحقيقة ، فإن قيمة التيار الابتدائي اكبر من القيمة المحسوبة حيث أن الملف الابتدائي يحمل أيضا التيار المكثف .

٧ - ٢ المحولات متعددة الملفات والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة

تستلزم تطبيقات كثيرة في الالكترونيات ، استخدام المحولات متعددة الملفات ، والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة .



شكل ٧ - ٢ - ١ محول متعدد الملفات [ب] محول نقطة تفرع متوسطة

يوضح شكل [٧ - ٢] الرسم التخطيطي لمحول ذي ملفين ثانويين . ويستخدم مثل هذا النوع من المحولات عندما نحتاج الى مصدرين مختلفين للجهد ومنفصلين كهربائياً . ويمكن استخدامه أيضا مع مولد النبضات من النوع الذي سيوضح في الفصل ١٣ والذي يستعمل لتشغيل الدوائر الموادية المكون من ثايرستور أو ثرايك [تفصيلات هذا الجزء في الفصل ١٥] . وحيث أن الملف الابتدائي يغذي جميع الملفات الثانوية فإن تقنين الفولت - أمبير للمحول يعطى بحاصل جمع تقنين الفولت - أمبير لجميع الملفات الثانوية . أي أن

$$V_2 I_2 + V_3 I_3 = V_1 I_1 = \text{المحول (VA) أمبير}$$

إذا كان حاصل ضرب الفولت - أمبير المعطى بالملفات الثانوية هي 10 و 4.3 فولت أمبير على الترتيب ، فإن تقنين الفولت - أمبير للمحول [باهمل الفقد في المحول] هو 14.3 VA . وعلاوة على ذلك ،

حيث أن عدد وحدات العولت لكل لفة هو رقم ثابت بالنسبة لكل ملف ، فإن

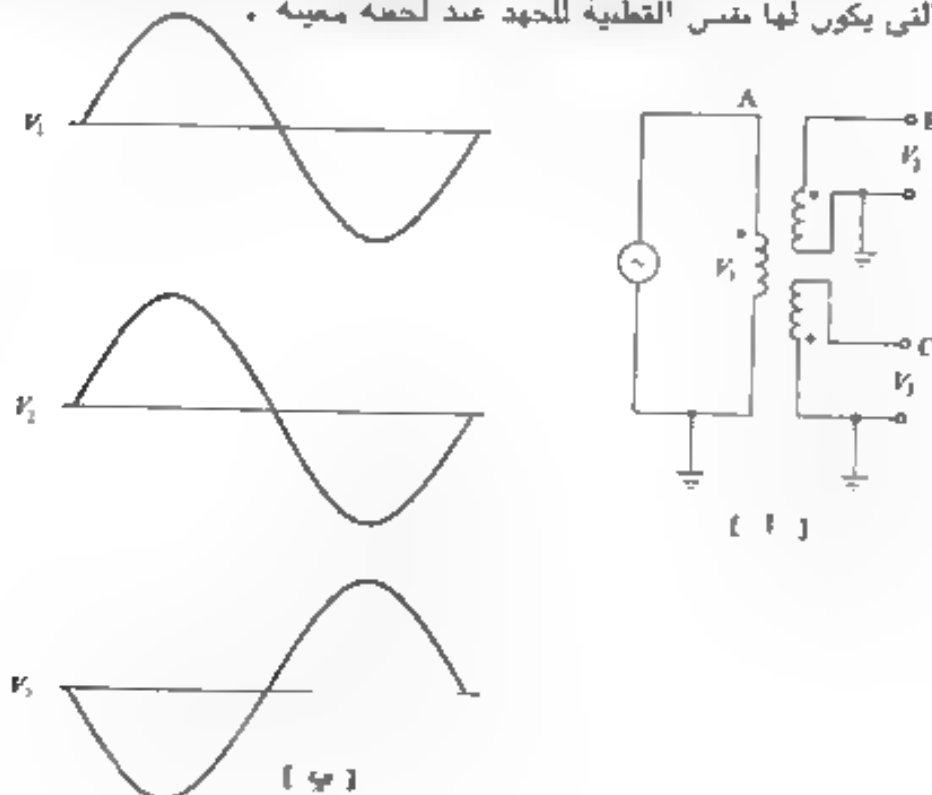
$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} = \frac{V_3}{N_3}$$

يستخدم الملف ذو نقطه التمرع المتوسطه ، شكل ٧ - ٢ [ب] ، مكررة مع مصادر القدرة التي تعدى دوائر الوحيد [التقويم] [نظر الفصل ٨] كما تستخدم أيضا في كثير من دوائر اللاسلكى والتليفزيون والمحرك الالى ، ودوائر الاتصال ، ويتساوى جهد الملفين للتقويين في معظم الحالات ، بحيث تتحدد نسبة الملفات ، بين الملف الابتدائى وكل من الملفين الثانويين ، بنفس القيمة .

فالذا بلغت قيمة هذه النسبة مثلا 1.4 ، فإن جهد المحول يوصف بنسبة (1.4+1.4) : 1 ويكون جهد الحرج له 350-0-350 V اذا كان جهده الابتدائى قيمته 250 V .

علامة النقطة للـ . ق.د.ك المسحقة التبادلية : من المعروف فيه ، ان نستطيع بيان العلاقة بين الجهود المسحقة في ملفات المحول فوق الاشكال التخطيطية للدوائر الكهربائية .

ويوضح شكل ٧ - ٢ احدى الطرق التى تظهر هذه المعلومات وتعرف باسم علامة النقطة وفى هذه الطريقة ، يوضح نقطة عند نهاية الملفات التى يكون لها نفس القطبية للجهود عند لحظة معينة .



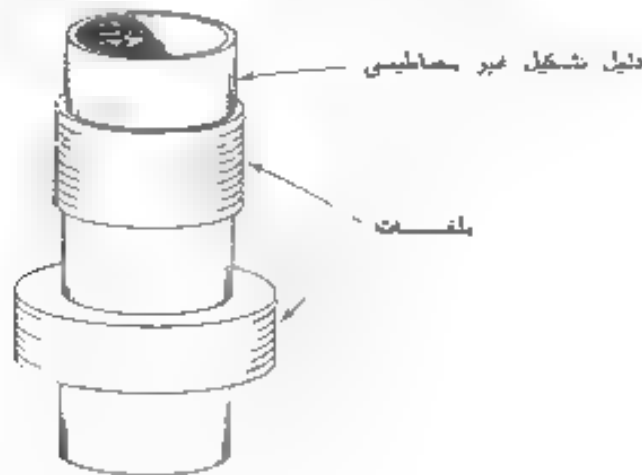
شكل ٧ - ٢ رمز النقطة للجهود المسحقة

فصديها تكون قطبية بهليه الملف الابتدائي شكل ٧ - ٣ [١] ، المبره بالقطعة ، موجبه عند لحظة مصيه ، فان جميع نهايات الملفات الثانويه المبره بالقطعة ، تكون موجبه بالمثل عند نفس اللحظة . فلذا كان الطرف A من لحظة مصيه من الزمن موجبا بالنسبة الى الارض فان جهد الطرف B يكون موجبا بالمثل ، اما الطرف C فيكون سالبا ونفس آخر ، فان V_2 يتحد نفس اتجاه V_1 بينما يتحد V_3 عكس اتجاه V_1 .

٧-٣ أنواع المحولات

يمكن تصنيف المحولات المستخدمة في الدوائر الالكترونيه الى نوعين هما محولات القلب الهوائي ومحولات القلب الحديدي . يشمل النوع الاخير ايضا المحولات ذات قلوب غريتيه [.

محولات القلب الهوائي : تلف الملفات في هذا النوع من المحولات حول دليل تشكيل غير مغناطيسي . ويوضح شكل ٧ - ٤ واحدا من انواع المحولات الشائعة دوات القلب الهوائي ويعمل على تردد اللاسلكي .



شكل ٧ - ٤ محول له قلب هوائي يعمل على تردد اللاسلكي

ولا تستعمل محولات القلب الهوائي كاسطه لمحولات ابقرة حيث تقرب كمية كبيرة من المغناطيسية من بين الملفات ويتواصل مع الملف الثانوي ، قدر ضئيل جدا من الفيض المغناطيسي الناتج من الملف الابتدائي . ومع ذلك ستحتج هذه المحولات بكثرة في دوائر الموائفة بمعدات الراديو والتلفزيون واجهزة الاتصالات . وتعطى هذه المحولات درجة انتقاء عالية محد عرض معين من النطاق الترددي .

محولات القلب الحديدي : وتنقسم هذه المجموعة من علم الكهروبيات الى ثلاثة اقسام مرعيه هي محولات مصدر اقدره ومحولات التردد السعوى والمحولات البضعية .

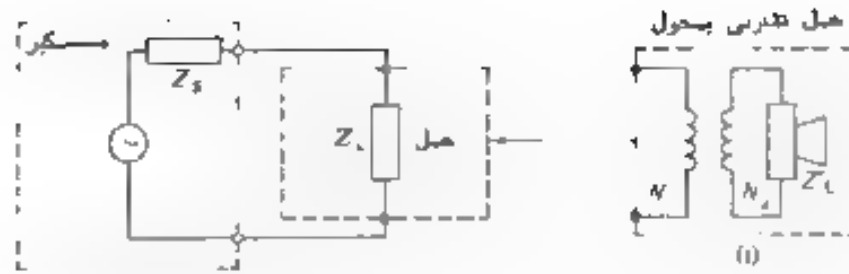
ويكون محولات مصدر القدرة ثلوث حديدية تردد بالهواء ويصل تقريبا الى حوالي 1000 VA عند تردد المصدر . ويوضح شكل (٧ - ٥) الرموز المستخدمة لدوائر محولات القلب الحديدي والقلب الفريمي . ويكون لهذه المحولات من بعض الاحيان ملف ثانوى ذو نقطه مفرع متوسطة مع ملفات ثانوية اخرى بعض سيميالات مصادر القدرة المساعدة . وفي بعض المشآت يحتم عمل النظم الالكترونيه عملا كهربائيا نائما عن المصدر الاساسى وذلك لدواعى الامن ، وكمثال ، مصصده للاحصار من ورشة يصلح التليفزيون . ويرتفع تقنين المحول . في هذه الحالة ، ليصل الى ما يعادل 500 او 1000 فولت - امبير . ومن بعض الحالات ، يمكن ان تحتوي الملفات الثانوية على ملعين منفصلين دى نقطى التفرع المتوسطتين بحيث يعطى منهما جهدا قيمته 60 - 0 - 60 فولت مثلا ، ويمكن ان يستخدم كل ملف بعدد للحصول على مصصادر متنوعة



شكل ٧ - ٥ : ا و ب رموز مختلفة لمحولات القلب الحديدي و ج رمز دائرة المحول ذي القلب الفريمي

مثل 60 V . 60-0-60 فولت و 120 فولت . مادام اتصالهما على التوالي يمكن ان نحصل على مصدر 120-0-120 فولت او مصدر جهد 240 فولت .

محولات التردد السعوى : هي محولات مصصرة تحتوي كل منها على قلب حديدي وبمجموعة لكى تعمل على مدى الترددات السعوية (15 Hz - 20 kHz) ومن عدد من التطبيقات منها التتارن المرحلى بين المكبرات ومن دوائر السعوية المرندة . انظر لفصل ١٢ . مع تقسيم المولد امبير لهذه الاجهزة ، ما من عدد قليل من الملى وات في حالة محولات التتارن المرحلى الحجم اسودجى 15 × 15 × 20 mm او 0.8 × 0.6 × 0.6 in الى 15 وات او اكثر في حالة محولات الحرج من احوال القدرة المرندة للتردد السعوى عند مرحله الحرج . ولكى يستطيع المنارة ، فان الحجم الطبسى لمحول الحرج السعوى الذى مدره 15 W يبلغ حوالى 80 × 70 × 50 mm (3.25 × 2.75 × 2 in) وليس شكل ٧ - ٦ محول حرج شائع للاستعمال .



شكل ٧ - ٧ أقصى قدرة يمكن أن تنتقل إلى الحمل

يمكن في حالة مكبرات الترانزستور للتردد السعوى أن يوصل حمل الجهاز مباشرة بطرفى المكبر كما هو موضح في شكل ٧ - ٧ ، والسبب هو أنه يمكن اختيار مقاومة الخرج لمكبر الترانزستور التي تتواءم مع مقاومه المحاهير المتوفرة تحاربا . وأن قويا مقدارها $3,7,15 \Omega$ لمعوقات المحاهير لمعتبر قويا شائعه . وللحصول على اكبر قدرة يمكن انتقالها بين الصمام والجهاز ، من الضروري أن يصل المحاهير عن طريق محول الى مكبر حتى يمكن موازنة معاوقه الحمل بمعاوقه الخرج للمكبر . وتقع هذه المعوقه في المدى ما بين $4 k\Omega$ الى $16 k\Omega$ [انظر مثال ٧ - ٣ ادناه] .

فإذا ما وصلت معاوقه Z_L من طرفى الملف الثانوى للمحول الى من الممكن اثبتت [انظر المرجع السابق] أن المعاوقه المعاله الطاهره بين طرفى الملف الابتدائى هي $(N_1/N_2)^2 Z_L$. كما هو مضمّن في (i) [بالشكل ٧ - ٧ . لكي تنتقل أقصى قدرة لمعاوقه هذا الحمل ملائداً أن

$$Z_s = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z_L$$

وبنتج من المعادله السابقه أن نسبة لفات المحول اللازمه لد أقصى قدرة محبولة هي

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\left(\frac{Z_s}{Z_L} \right)}$$

مثال ٧ - ٣ . تقارن مكبر للتردد السعوى ذي مقاومه خرج مقدارها $3,4 k\Omega$ مع محاهير مقاومه 15Ω عن طريق محول . أوجد قيمة نسبة اللفات المثلى للمحول .

الحل . من المعادلات السابقه ، تكون النسبة المطلوبه هي

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\left(\frac{3400}{5} \right)} = 15$$

٧-٥ دوائر المحولات تحت الاحوال العابرة

المحولات هي انبطة صلده تتعامل مع الاحمال الرنذه سواء لمسدة طويله او لاده تصيره [عابرة] . ومع ذلك فقد يتسبب عن هذه الاجهزة نفسها رناده عابرة ومفاجئة في الجهد مما قد يؤدي الى تلف المعدات الالكترونيه .

ويحدث هذا التشويش العابر كنتيجه لعدد من العمليات تشمل وصل او قطع دائرة المحول معمد لحظه علق مفتاح المصدر لمعدية المحول بالقدره يندمج تيار في الملف الاستدائي قد يؤدي الى حدوث جهد مسطح عابر [شرارة] في الدائرة الالكترونيه ، من الممكن ان يتلف انبطة اشياء الموصلات . وعند فتح المفتاح الرئيسي ، يصل تيار الحمل لقيمة الصغر بطريقة معاجنه من الممكن ان يتسبب عنها جهد عابر مسطح ذو قيمة عالية .

وتعترض مثل هذه الحالات من التشميل مخاطرات معادة بالنسبة للنظم الصناعيه ، وتصميم الدوائر الالكترونيه لتتكيف مع مثل هذه الاتواع من الحالات العابره . وفي بعض الحالات تؤخذ بعض المحويطات بتوصيل مقاومة تلمحه للجهد عبر الخطوط الموصله من مصدر القدره ، لفرض الوقاية عندما تقل غرض احتمال حدوث شرارة كهربائية .

الفصل الثامن

وحدات دايود الجوامد

٨-١ خواص الدايدود :

وحدة الدايدود ، هي بسيطة كهربائية ذات طرفين تسمح بمرور التيار بسهولة في اتجاه واحد وتمنع مرور التيار في الاتجاه العكسي وبوصح شكل ٨ - ١ [١] دائرة الدايدود الاصطلاحيه حيث يعرف شحنا الدايدود بالانود والكاثود على الترتيب .

ويستمر مرور التيار خلال الدايدود عندما يكون جهد شح الانود موجبا بالنسبة الى شح الكاثود . ولا يمر الا تيار سرب صغير جدا خلال الدايدود عندما يكون جهد الانود سالبا بالنسبة الى الكاثود . وهكذا يمكن اعسار الدايدود كيفشج جهد خسلبي يصير موصلا او مطما (ON) عندما يكون الانود اعلى جهدا من الكاثود . وبصير فاصلا او ممناحا (OFF) عندما يكون جهد الانود سالبا بالنسبة للكاثود . معى الحالة الاولى . عندما يكون موصلا يقال ان الدايدود اهمى الانحياز اما فى الحالة الثانية . عندما يعوق مرور التيار ، فيقال ان الدايدود عكسى الانحياز .

ومن الممكن اختصار الدايدود باستعمال مقياس كهربائى متعدد القياسات موصيله بين طرفى قياس المقاومة . ومعى هذه الحالة ، متصل القطب الموجب للبطارية الداخليه بطرف الجهاز السالب ، بينما متصل القطب السالب منها بطرف الجهاز الموجب ونقاس مقاومة الانحياز المكسب للدايدود بتوصل الانود بطرف جهاز القياس الموجب ، وتوصل الكاثود بالطرف السالب له . [ويلاحظ أنه يوجد دائما علامة بطريقه ما فوق كاثود الدايدود وتكون عبارة عن نقطة جبراء معى بعض الاحيان .] وعند هذا الوضع ، يجب ان تكون قراءة جهاز القياس مالا بهامة . ومن الممكن قياس مقاومة الانحياز الامامى بمعكس اطراف الدايدود ، وتكون قراءة الجهاز عادة معى حالة الدايدود السليم ، تصع مئات من وحدات الاوم . وبلغ القيمة المألومة للتيار الذى يبدده جهاز القياس المتعدد القياسات ، معى حالة الانحياز الامامى للدايدود جزءا من الميلي امبير ، وليس من المحتمل ان تقل مثل هذه القيمة اى دايدود تحت الاختبار .

ومن المعلوم ان قيمة فرق الجهد بين طرفى مسمار مثالى عند توصيلة تبليغ الصفر - أما عند فتحه ، فان قيمة تيار التسرب مساوى للصفر . لكن دايود اشباه الموصلات لن يعمل كمفتاح مثالى ، حيث أنه يوجد فرق للجهد بين الكاثود والآنود في حالة الانحياز الاملى [انظر شكل ٨ - ١ (ب)] . فعند هذه الحالة من الانحياز الاملى لنوال التشغيل ، يصبح من المألوف لفرق الجهد بين طرفى الآنود ، والذي يسمى **هبوط الجهد الاملى** ، ان



[١]



[ب]

شكل ٨ - ١ (١) رمز الدائرة الاصطلاحي لدايود (ب) خواص الدايود التيرستية

يقع في المدى ما بين 0.3 الى 0.8 فولت بالنسبة لدايود الحرملتيوم، وما بين 0.6 الى 2 فولت بالنسبة لدايود السليكون . وفي حالة الانحياز العكسي للدايود [أى ان الآنود يكون سالبا بالنسبة الى الكاثود] يصبح تشغيل السطبة على المنوال العائق العكسي ، وعندئذ تطلع قيمة تيار التسرب بين الآنود والكاثود ما بين عدة وحدات من الميكرو أمبير ($10 \mu A = 10^{-5} A$) الى دايود الفيلز المنخفض الى عدة وحدات من الميلي أمبير ($1 mA = 10^{-3} A$) في دايود القدرة ذي التيار المرتفع . وتكون قيم هذه التيارات عمادة صغيرة جدا اذا قورنت بالتقييم المثبتة للتيار الاملى للدايود . فعند درجة حرارة محيطه معطاة ، تبقى قيمة تيار التسرب ثابتة بعض النظر عن قيمة الجهد حتى نصل الى قيمة معينة تعرف بـ **جهد الانحياز** [انظر شكل ٨ - ١ (ب)] .

معند هذا الجهد . مرداد قيمة التيار العكسي بسرعه ، ويقال ان الدايود يعمل على **منوال الانهيار العكسي** وتريد قيمة جهد الانهيار العكسي عادة عن 600 فولت في حالة الدايود المستعمل في تقويم القدرة . وفي مثل هذه الحالة ، اذا ما مر تيار عكسي قيمته . مثلا . 0.1 امبير . فسوف يؤدي الامر الى قدره معدة في السبلة اكثر من 60W 600×0.1 . مادام لم يحدد هذه القدره للحو المحيط ، على درجة حراره السبلة قد يرتفع الى الحد الذي يصح به غير صالحه كيقوم . وقد تم تصميم انواع معينة من الدايود يعرف باسم **دايود زيلر** ، انظر جزء ٨ - ١٠ . التمثل على منوال الانهيار العكسي .

٨-٢ انواع الدايود

تشمل الانواع الاساسية المستعملة للدايود

[ا] دايود اشباه الموصلات

[ب] دايود اكسيد النحاس

[ج] دايود السيليبيوم

[د] صمامات الدايود الحرارية

[هـ] صمامات مملوءة بالغاز وصمامات مملوءة بالبخار

وفي الاصح ، فل اكثر الانواع شيوعا هو دايود اشباه الموصلات ويصنع عادة من السليكون او الجرمانيوم . وتستعمل المادة الاولى [السليكون] اكثر في الاعراض العلمية وفي تطبيقات القدرة المرتفعة ، بينما يكتسب الجرمانيوم بعض المميزات في استخدامات الانصالات الكهربائية . ويستعمل دايود اكسيد النحاس مع بعض اجهزة القياس الكهربائية وتستعمل بعض مقومات [موحدة] السيليبيوم في استخدامات الجهد المنخفض والتيار المرتفع . وقد استحدثت منذ مدة صمامات الدايود الحرارية في الصناعة وفي المعدات السمعية ولكن مطل استعمالها بدرجة كبيرة . وكنت السبيل المتبعة بالحار مثل مقومات التجميع الرنقي تستعمل بكثرة في الصناعة ولكن الاتجاه المسلك حاليا هو سرعة استبدالها ببساط اشباه الموصلات . ويستمر استخدام نائط التجميع الرنقي في التطبيقات الخاصة مثل اللحام بالقوس الكهربى .

٨-٣ وصلات لشباه الموصلات الثنائية (وحدات الدايود)

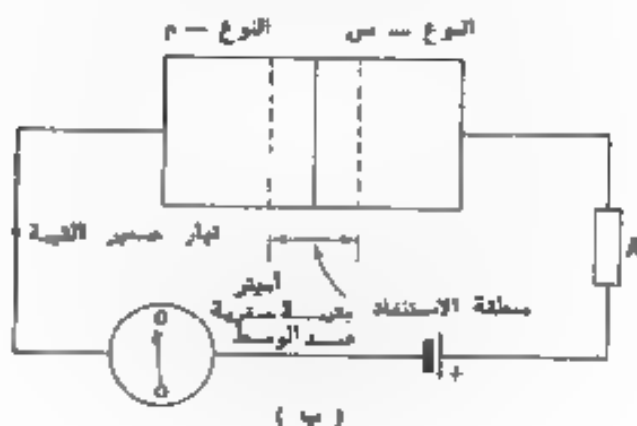
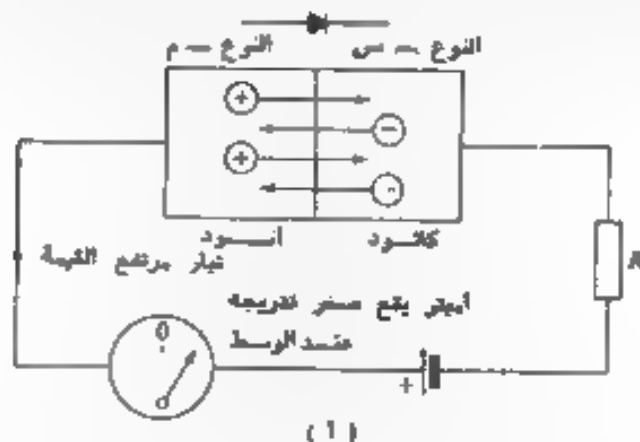
تتكون الوصلة م - س (p-n) للدايود من بلورة واحدة من مادة شبه موصلة كال قد استشر فيها شوائب اشياء تصيغها لتعطى النوع الموجب للاتود والنوع السالب (n-type) الكاثود .

ولقد وجد ان تيارا كبيرا يمر في الدائرة اذا ما تم توصيل الدايود كما في شكل ٨-٢ [ا] ، حيث يتم توصيل الاتود من النوع الموجب [م] بالقطب

الموجب للبطارية ، بينما يوصل الكاثود وهو من النوع السالب [س] ،
بالقطب السالب للبطارية . والسبب في ذلك هو أن غالبيه حاملات الشحنة
[انظر الفصل الاول] من النوع الموجب [م] للمادة عبارة عن فجوات ،
بينما هي عبارة عن الكترونات من النوع السالب [س] للمادة . وهكذا ،
إذا ما تم توصيل جزء البلورة [م] ، للدايود بالقطب الموجب للمصدر ، فإن
فجوات البلورة الموجبة تعبر الوصلة ممجبة نحو القطب السالب عن طريق
تدرج الجهد عبر السيطه . وبالمثل فإن الكترونات البلورة السالبة تعبر
الوصلة ممجبة نحو القطب الموجب من الدايود وسعيده .

وبما سبق ، يتضح ان للدايود اختيارا اامليا عندما تكون قطبيه الاتود
نوع [م] موجبة بالنسبة للكاتود نوع [س] وتمثل المقاومة R المبينة
في شكل ٨ - ٢ [ا] مقاومة الحمل .

فإذا ما تم عكس قطبية المصدر كما في شكل ٨ - ٢ [ب] فإن قيمة التيار
المار في الدائرة تنخفض الى قيمة صغيرة جدا . وعلى هذا المنوال من
التشغيل ، فإن الكترونات البلورة السالبة المتحركة تنفعد عن الوصلة متجهة
نحو القطب الموجب المتصل بها . وبالمثل ، تنجذب فجوات البلورة الموجبة
المنحركة بعيدا عن الوصلة متجهة نحو القطب السالب المتصل بالاتود .



شكل ٨ - ٢ [ا] دايود ايسى الاختيار [ب] دايود عكس الاختيار

وتكثيجه لذلك . يستند جانباً الوصلة [م - م] من حاملات الشحنة ويكون من منطقة عارله الماعليه . وهكذا . تكون منطقة الاستنفاد في منطقة الوصلة عكسه الانحياز . ويتناهى سمك المنطقة المستنفدة في الصغر بينما يتخذ تدرج الجهد قيمة عالية .

وتؤدي زيادة جهد الانحياز العكسي الى زيادة ضئيلة في سمك المنطقة المستنفدة بسبب الاعتماد الاكثر للالكتروسات والمحواف عن الوصلة . وسدو دايود الانحياز العكسي بالمسمة للدائرة الخارجيه وكأنه مكثف . وتتصلص سمه الدايود مع ارياد سمك العازل ا او معنى آخر ، سمك الطقه المستنفدة { بحيث تؤدي الزيادة في الانحياز العكسي الى نقص سمه الدايود وستحتم انواع خاصه من الدايود ، تعرف باسم دايود الماركور ودايود الماركلاب [دايود بمعبر المسمة ، على التوالي عكسي الانحياز ، في دوائر الراديو والشمريون لمسط تردد الرنين لدوائر الموالمة وذلك بتعبير سمه الدايود بواسطة التحكم في الجهد .

وستؤدي زيادة الانحياز العكسي في النهاية الى اقصى قيمة يمكن تحملها لتدرج الجهد عبر المنطقة المستنفدة لمثل هذه المجموعة من انواع الدايود . ويعرف هذا الجهد باسم **الجهد العكسي مكرر الذروة** V_{RRM} .

وسوف تؤدي أي زيادة أخرى للجهد العكسي بالقطع الى انهيار عكسي ، وذلك عندما يبدأ الدايود في التوصيل مرة أخرى .

ويعطى الجدول ٨ - ١ بعض التفاصيل من قوائم مواصفات نوعين اثنين من انواع الدايود - النوع الاول منه يسمى BYX 51-1200 وهو يقوم سلكوني لاستخدامات نظم القوى الكهربائية والنوع الثاني منه يسمى BA 317 وهو دايود سلكوني مسطح فوقي محوري Planar epitaxial

جدول ٨ - ١ مقاييس مواصفات الدايود الجيئة في شكل ٨ - ٢

النوع	تقنين القيمة المتوسطة للتيار [بالامبير]	تقنين الجهد العكسي [بالفولت]	تعبير مناجيء متكرر للتيار [بالامبير]	معدل الجهد الامامي عند التيار المقنن [بالامبير]	اتصى درجة حرارة تشغيل
BYX52-1200	40	800	450	14	175
BA317	0.1	30	0.225	1.1	200

ذو قدرة منخفضة ويستخدم للاغراض العامة . وسيوضح في الفصل الثاني عشر معنى « سطح فوقي محوري » . ويعطى شكل ٨ - ٢ بيئين اجماليين بالاعتماد لهذين النوعين من الدايود .

أما إذا لم يعد المعرض ، فإنه يربط بمسار الى بالوعة حرارية قد تكون للبطانة شليه التجهيزات .

وهناك نقطة جديرة بالملاحظة عند القيام بلحام الدايود وبعض مسقط اشياء الموصلات في الدوائر الالكترونية . وهي اننا نصح بتقليل كمية الحرارة الموصلة الى الوصلة بواسطة الاسلاك . ونستخدم احدى الطرق المفضلة لهذا الغرض ، **قطرة حرارية** قد تكون ببساطة ، عبارة عن مثبك تيسح او اى موصل آخر مناسب للحرارة يشبك بمصه مؤقتة بالسلك .

٨ - ٤ دراسة خواص وصلات الدايود بالنسبة للتأثيرات الحرارية

ترداد حاصه الموصله الذاتيه لسيطة اشياء الموصلات مع تزايد درجة حرارة التشغيل | انظر الرسم الاول | . ويوضح شكل ٨ - ٥ التغير في خواص وصلات الدايود متحه لزياده درجة الحرارة . وقد ظهرت الخاصية المناظرة لدرجة حرارة محيطه مقدارها 25°C بالحط المستطوي ، وسقياس رسم مقدر بالامبير لتيار الانحياز الاملى اما بالنسبة للانحياز لعكسي فقد قدر بقياس الرسم بالميكروامبير .

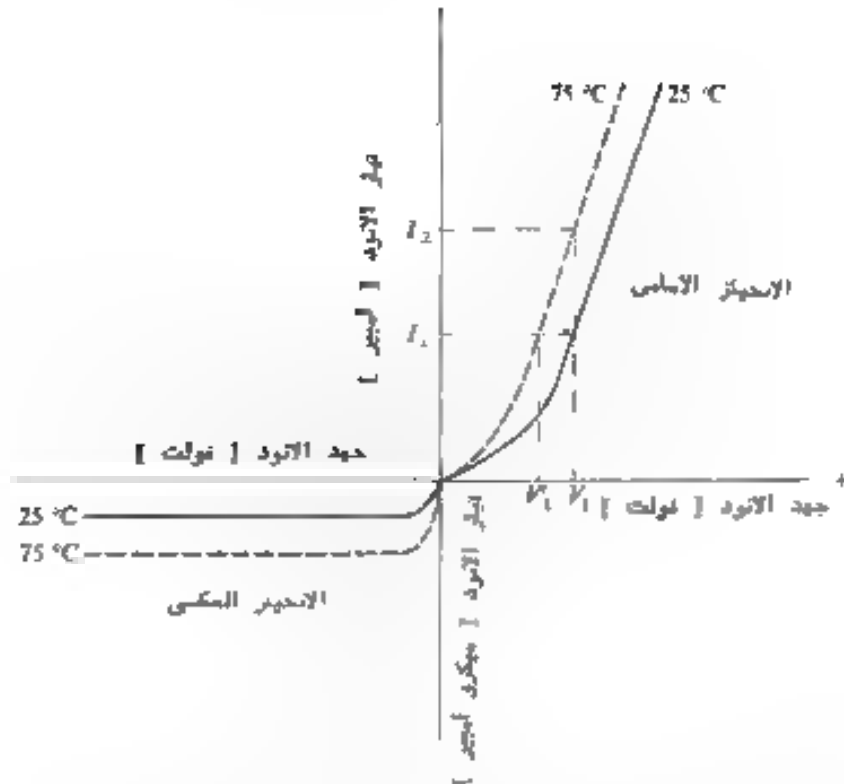
والان ، لنأخذ في الاعتبار ، اولاً ، تغير ربع الشكل املى الانحياز . فعند تزايد ما لدرجة الحرارة ، بالنسبة لقيمة معطاة من الهبوط الاملى للجهد ، يؤدي تزايد اسياب التيار ، نتيجة ازدياد الموصلية الذاتية . الى زيادة تيار الدايود . وهكذا ، فإنه بالنسبة لهبوط املى للجهد مقداره V_1 ، ينساب تيار قيمته I_1 عند درجة حرارة 25°C وتيار قيمته I_2 عند درجة حرارة 75°C . وبطريقه اخرى ، فإنه بالنسبة لقيمة معطاة من تيار الدايود مقدارها I_1 ، مثلاً ، تكون قيمة هبوط الجهد عبر الدايود V_1 عند درجة حرارة 25°C وتبلغ V_2 عند درجة حرارة 75°C . وبمعنى آخر ، يتناقص الهبوط الاملى للجهد ، لكل قيمة معطاة من تيار الحمل ، مع تزايد درجة الحرارة .

أما بالنسبة لربع شكل ٨ - ٥ عكسي الانحياز ، فإن انطلاق حملات الشحنة يرداد مع تزايد درجات الحرارة ، مما يؤدي الى زيادة التسرب .

٨ - ٥ دوائر المقوم أحادى الطور

تستخدم دوائر متنوعة لتتويج الجهود المترددة اى لتحويل الموجه المترددة لآخرى موحدة الاتجاه او لاثارة من التيار المستمر . وسنصف فيما يلى عدداً من الدوائر الاكثر اهمية .

فمن الممكن استعمال دائرة **الموجه النصفية الحادية الطور** ، شكل ٨ - ٦ [١] مباشرة بين مصدر التيار المتردد وحمل التيار المستمر بدون استخدام اى محول كهربائى . يوصل الدايود طالما انوداه موجب بالنسبة



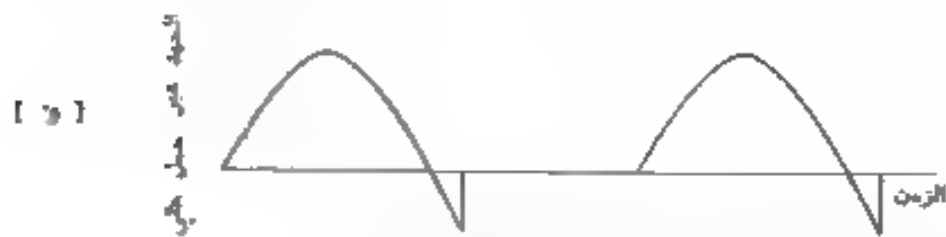
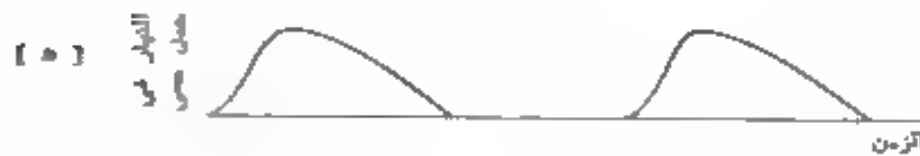
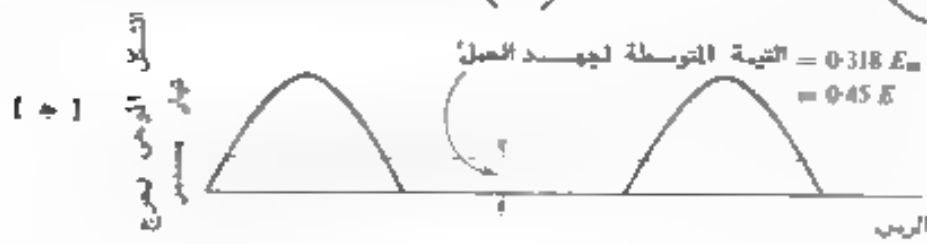
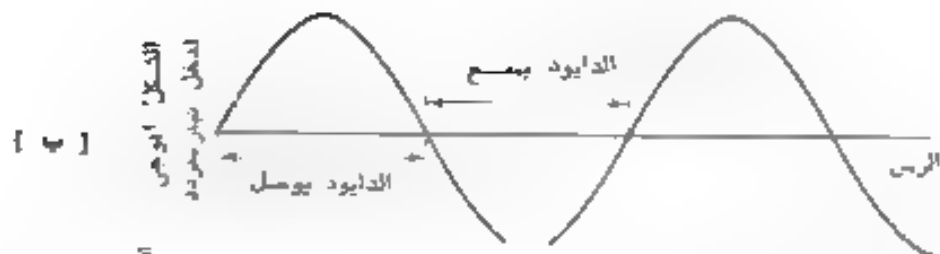
شكل ٨ - ٥ تأثيرات الحرارة على خصائص وصلة الثايرود

للكاثود ، بينما يسمح بمرور التيار عندما يكون الأنبود مثاباً بالنسبة للكاتود ، كما هو موضح في شكل ٨ - ٦ (ج) و (د) ، لذلك يكون الشكل الموجي لتيار الحمل عبارة عن نصف موجة انتحاء تنساب خلال النصف الموجب لموجات مصدر التيار المتردد . في حالة ما إذا كان الحمل عبارة عن مقاومة فإن تيار وحده الحمل يكون لها نفس الشكل الموجي مثل النصف الموجب لدورة موجات مصدر التيار المتردد .

جهد النبوة العكسي (ح . د . ع) المطبق على الثايرود يحدث عند ذروة النصف الموجب لدورة موجات جهد المصدر ، وفي حالة وجود مصدر موجات جيبية يكون جهد النبوة العكسي هو

$$E_{\text{ع.د.ع}} = E_m = \sqrt{2}E$$

حيث E هو أقصى قيمة للشكل الموجي للمصدر و E_m هي ح . م . م القيمة . في حالة وجود مصدر موجات جيبية لـ ح . م . م القيمة يساوي 240V لأن ح . د . ع الدوري يكون 340V ، بينما يكون 622V في حالة مصدر له ح . م . م يساوي 440V .



شكل ٨ - ٦ دائرة تقوم بعمل الموجة احادية القطر

[وكقاعدة عامة بسيطة ، يمكن احتساب القيمة الذروة للموجة الحبيبة برقم ينقص قليلا عن 1.5 مرة ج.م.م القيمة] وعلاوة على ذلك ، تضاف بصفة دورية تغيرات مفاجئة لجهد عبر الى الجهد الاصلى للمصدر . ومن الممكن ان تحدث هذه التغيرات المفاجئة من عدة مصادر منها :

[أ] فصل حمل التيار المستمر عند خرج المقوم .

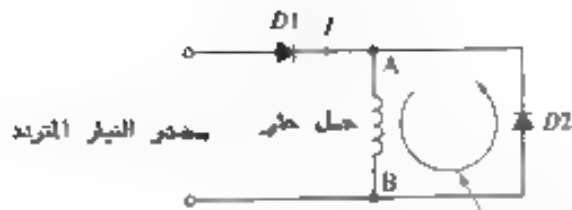
[ب] فصل أحمال حثية موصلة على التوازي مع دخل الدائرة .

[ج] تحميل المحول أو قطع تيار الحمل بالنسبة للحالات التي تغذي فيها المقاومات عن طريق المحول الكهربائي .

ولكى نتعامل مع هذه التعبيرات المعبرة ، ينبغي أن يزداد تقنين جهد الدايمود العكسي عن E_{mo} . وكقاعدة عامة ، يسقى تقنين جهد الدايمود العكسي للمقوم الممين في شكل ٨ - ٦ [أ] بما لا يقل قيمته عن ضعف ج.م.م جهد المصدر ، أي ما قيمته 480V لمصدر الجهد 240V وما قيمته 880V لمصدر الجهد 440V .

وعالماً بما يستخدم دوائر المقومات مع أحمال حثية ، مثل المغناطيسيات والمحركات الكهربائية ، وبين شكل ٨ - ٦ [هـ] ، [و] تأثير الحمل الحثي على الاشكال الموجية لكل من الجهد والتيار . فعندما تبدأ فترة توصيل الدايمود ، في حالة الحمل الحثي ، تسبب الق.د.ك. المعارضة من ملف المحامه مطءاً مقط عند مداه فترة تزايد التيار ، لتمطي له مظهر الانكفاء المكثف والممين في شكل ٨ - ٦ [هـ] . ونظراً لما يحتزنه الحمل الحثي من طاقته ، بل يكون قيمة التيار قد وصلت الى الصفر ، عند نهاية النصف الموجب للدورة حيث تكون قيمة جهد المصدر قد تناقصت للصفر . والنتيجة ، هي أن الق.د.ك. المعارضة بالملف ، تدفع الدايمود لكي يستمر في التوصيل خلال النصف السالب لدورة موجة الجهد وحتى تكون قيمة التيار قد تناقصت الى الصفر . ويوضح شكل ٨ - ٦ [و] الشكل الموجي للجهد عبر الحمل .

ومن الحائر أن يترتب عن التحميل الحثي لبعض الدوائر نوعاً من المشاكل ، سيما لا تثار أية مشكلة بالنسبة لبعض الأنواع الأخرى من الدوائر [انظر ، على سبيل المثال ، الفصل الخامس عشر] . ويمكن في بعض الأحيان تنفي طريقه لمنع توصيل دايمود المقوم الرئيسي خلال النصف السالب من دورة موجة الجهد باستخدام دايمود الخدافة - D2 كما هو موضح بشكل ٨ - ٧ في أثناء النصف الموجب من دورة موجة جهد المصدر ، يكون دايمود المقوم D1 في حالة توصيل ، ويبدد الطاقة للحمل في نفس الوقت الذي يكون فيه دايمود D2 عكسي التحيز . وفي خلال الجزء المنكر من النصف السالب لدورة جهد المصدر ، حيث لا يزال التيار مساراً بالملف الحثي ، تؤدي الق.د.ك. المعارضة الى أن يصبح نقطة A سالبة بالنسبة الى نقطة B . وهكذا تنشأ حالة يصبح بها المقوم D2 أمامي التحيز ، فيهيء مساراً لانسحاب تيار الطاقة المحتزنة في الملف الحثي . وعندما يوصل المقوم D2 ،



مسار للتيار المعطى

شكل ٨ - ٧ استخدام دايود العدادة D2 مع هيل هلى

على يريد فرق الجهد بين نقطتي A و B من 1 الى 15 فولت ، ومعنى هذا هيوط الجهد الامامى عبر D2 ، بحيث ينقطع مرور لتيار خلال D1 حينما يزيد القيمة اسالبة لجهد المصدر عن هذه القيمة . ويوصف المقوم D2 ايضا بدايود كبت الشرارة واحيانا دايود توحيد الاتجاه .

وطبقا لما عرص سابقا ، فل دائرة مقوم نصف الموجه تعمل على الانتفاع بمصدره موجه المصدر فقط . اب دوائر الموجه الكامله كما فى شكل ٨ - ٨ فلها تعطى خرجا من التيار المستمر خلال كلا النصفين من دوره موجه المصدر .

وبالنسبه للدائرة ذات نقطة الفرع المتوسطه او مزوجه الطور الموصحة فى شكل ٨ - ٩ ، ماتها بعدى مقومات الدايود عن طريق محول كهربائى ذى نقطة تفرع متوسطه . ويتم توصيل الملفات الثانويه بحيث يصبح اسود D2 سالبا ، عندما يكون اسود D1 موجب بالنسبه الى نقطه التفرع المتوسطه والعكس بالعكس . ممثدا ، خلال النصف الموهب لدوره جهسد المصدر ، يوصل الدايود D1 ، بينما يكون الدايود D2 سالبا وهذه الكيفية ، تحافظ نقطة A على أن يظل أعلى جهدا من نقطة B خلال كل نصف دوره . ونكون الحصيله النهائيه هى مضاعفه خرج الجهد الفعال اذا ما قورن بحاله الموجه النصفية [بافراض أن نسبة ملفات المحول هى $(1 + 1) : 1$] .

وهناك عدة عيوب للمحولات الكهربائيه ، منها ثقلها وحجمها ووزنها بالإضافة الى القدرة المفقوده بها . لذا ، يلجأ الى الدائرة ذات نقطة التفرع المتوسطه فى الاحوال التى يحتم أن بعدى بها الحمل من جهد لانتطى أو اينما يقتحم عزله كهربائيا عن مصدر القدرة .

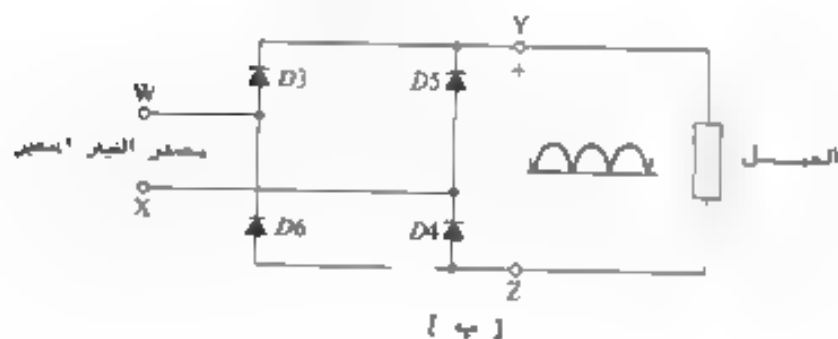
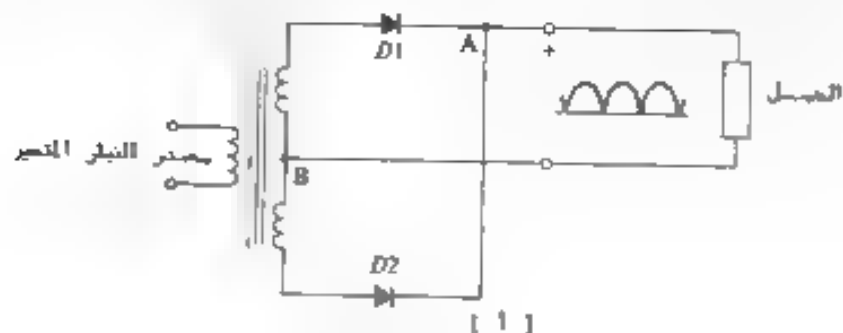
وعندما يصل جهد الخرج فى شكل ٨ - ٩ ، عند قيمة الذروة ويكون الدايود D1 فى حالة توصيل . على سبيل المثال ، فان جهد اسود D2 يكون عند قيمة الذرويه السالبة . وهكذا يتعرض الدايود D2 لجهد ذروة عكسي تعادل قيمته ضعف القيمة الذرويه لجهد الملف الثانوى ، أى 2.828 مرة ضعف ج.م.م قيمة الجهد الثانوى . ويتعرض ايضا الدايود D1 لنفس القيمة من ج.م.م. ذ.ع [خلال نصف السدوره التالى] .

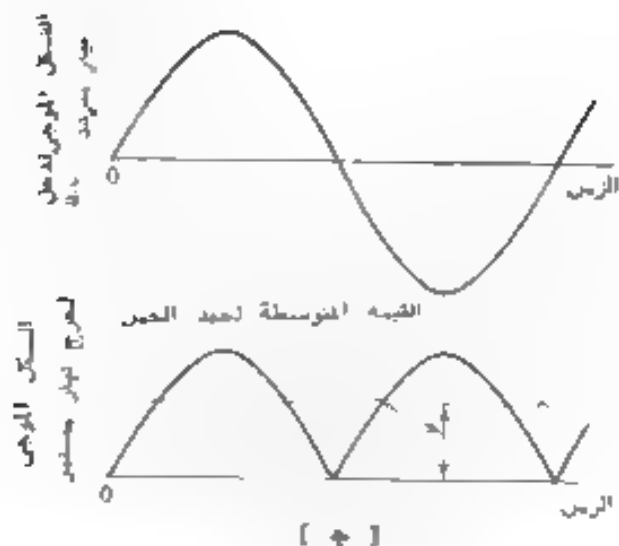
وكتاعده عامة وبسيطة ، يسمى أن يعادل الجهد المقس لمقومات الدايمود ، المستفيدة من الدوائر ذات بقط التفرع الموسطة ، ما يعادل حوالي أربعة لصعاف ج.م.م . قيمة جهد المصدر .

وبوضح شكل ٨ - ٨ | د | الاشكال الموحه لكل من جهدي الحمل والخرج [يفرض أن الحمل عبارة عن مقاومة] .

وتعبر دائرة المفهوم القطرية ذات الطور الواحد ، شكل ٨ - ٨ | ب | أكثر شيوعا ، ويمرر بمصليها الى أنها لا تتطلب محولا كهربائيا . فعندما تكون النقطة W موحه بالنسبة للنقطة X يصبح كل من وحيثي لدايمود $D3$ و $D4$ امامية الانحياز ويحملان التيار ، بينما يصبح كل من $D5$ و $D6$ عكسي الانحياز . في خلال نصف الدوره هذه يسحب التيار من Y الى Z . خلال الحمل ، وعندما تكون النقطة W سالبة بالنسبة للنقطة X على كل من $D5$ و $D6$ يكون امامي الانحياز ، بينما يكون $D3$ و $D4$ عكسي الانحياز ، وهكذا يسحب التيار مرة اخرى في الدائرة الخارجيه من Y الى Z . ونسأوي قيمة جهد الدوره العكسي المسلط عبر مقومات الدايمود في دائرة قطريه مع القيمة الدرويه لجهد المصدر التي تبلغ 1.414 مرة قيمة ج.م.م جهد المصدر في حالة ما اذا كانت موجاته حبيبة .

هذا ومد ادرج في الجدول ٨ - ٢ اهم بارامترات روائر المقومات احادية الطور حيث تمثل E_{m} القيمة القصوى للجهد الممدى للمقوم ، E هي قيمة ج.م.م و f هي تردد المصدر بالهرتز . وسوف يدرك القارئ ان التردد الموحى الرئيسي هو $2f$ لكل من دائرتي الموجة الكامله .





شكل ٨ - ٢ دوائر مقويات الموجة الكاملة احادية الطور . ١ ذات نقطة تفرع متوسطة أو ثنائية الطور ب ١ نظرية ج ٢ بين الاشكال الموجية لجهد الدخل والخرج عندما يكون الحمل عبارة عن مقاومة

ويمكن استكشاف المسبب في ذلك اذا ما وضمنا الشكل الموجي لخرج الفوائر ، والموضح في شكل ٨ - ٣ . تحت الاعسار . فالرسم الذي يستعرضه موجة جهد اخرج خلال دوره كامله انها يبلغ نصف زمن موجة الدخل ، ولذا ، من تردد المركبات المردد في الشكل الموجي للخرج المردد الموجي ايساوى نصف تردد المصدر . ويبلغ فيه التردد الموجي الرئيسي 100 هرتز ، بالنسبة لمصدر تردده 50 هرتز .

جدول ٨ - ٢ المتغيرات الهامة لدوائر المقوم احادى الطور

نوع الدائرة	القوية المتوسطة لجهد الحمل	التردد الموجي الرئيسي	النموذج النسبي
الموجة النصفية	$0.318E_m = 0.45E$	f	111
الموجة الكاملة	$0.636E_m = 0.9E$	$2f$	0.472
مع نقطة تفرع متوسطة	$0.636E_m = 0.9E$	$2f$	0.472
نظرية - موجة كاملة			

وتحسب القيم في العمود تحت عنوان : « النوع النسبي » من الجدول ٨ - ٢ بهذه المائدة

ج.م.م. قيمة الجهد الموجبي الرئيسي

النوع النسبي = $\frac{\text{متوسط جهد الحمل}}{\text{ج.م.م. قيمة الجهد الموجبي الرئيسي}}$

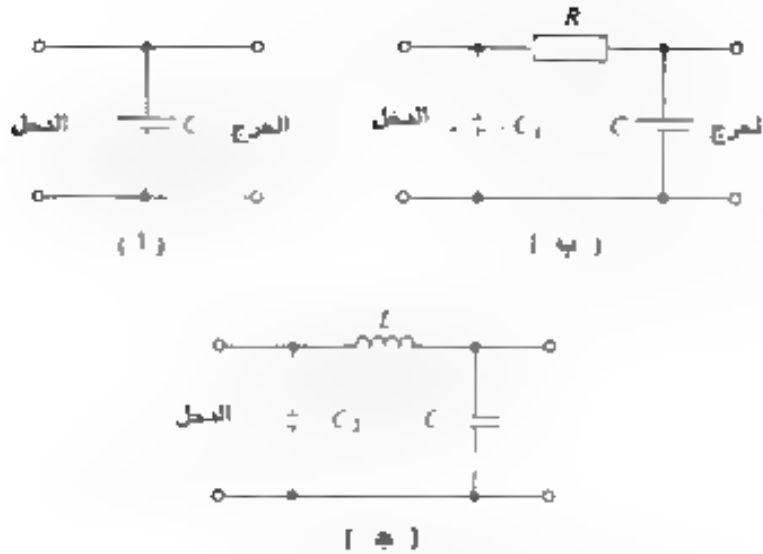
وهناك شكل شائع من نموذج لقنطرة المقوم أحادي الطور نسبي كمنزلة البلاستيك . وهو عبارة عن دائرة قنطرة كاملة المقوم ومطابق مختلف على هيئة مستطيل من البلاستيك ، ويخرج منه أربعة أسلاك يخصص لكل منها لمصدر جهد التيار المتردد ويخصص السلكان الآخرين لخرج التماس المستمر . ويصل التيار المقس إلى حوالي 10 أو 15 أمبير لبعض المداخل فإذا رأت قيمة التيار عن هذه القيمة ، تستخدم مقومات الدايمود قنطرية التوصيل بعد تركيبها فوق بالوعة حرارية ، ومن الممكن أيضا زيادته إمكانية بعض أنواع نماذج كمنزلات البلاستيك للتداول مع قدرات أكبر فكريتها فوق بالوعة حرارية .

٨ - ٦ مرشحات الموجبات

مرشحات الموجبات وتسمى أحيانا نواثر التسوية هي صورة للدائرة الكهربائية المتكاملة والتي تستخدم لتقليل موجبات الجهد عند خرج دائرة المقوم . إلى أنسى حدد يمكن . ويوضح شكل ٨ - ٩ ثلاثة أشكال أساسية لمثل هذه الدوائر . ويطلب هذه الدوائر بكثافات رائدة السعة لمطابق وتقع عادة في المدى من عشرة ميكرو فاراد إلى بضعة آلاف من الميكرو فاراد .

ومعمر المرشح السعوي ، شكل ٨ - ٩ (أ) بسيط ورحيما ويستخدم بكثرة عندما تكون موجبات الجهد صغيرة معلا ، ولكي يتم تشغيل المرشح على الوجه الصحيح ، يسمى أن تقل بمعايرة المكثف عند أصغر تردد موجبي عن حوالي عشر مقاومة خرج مصدر القدرة . وهناك عيب يتعلق بالمرشح السعوي ، في حالة استخدامه مع دايود أشباه الموصلات ، إذ أنه سحب تيارا على هيئة نبضات متتالية عالية التردد إذا ما قوربت مع القيمة المتوسطة لتيار خرج الدائرة . وهذا عائد إلى اندفاع تيار شحن المكثف خلال فترة زمنية صغيرة من كل دورة . وهكذا سيعرض أجهزة أشباه الموصلات للتلف نتيجة انسياب مثل هذا النوع من التيار .

ويوضح شكل ٨ - ٩ (ب) بالخطوط المتقطعة ترتيبه شائع المرشح ذي المكثف والمقاومة (RC) . فاصلة المقاومة R على التوالي تحد من قيمة تيار الشحن الذي يسحبه المكثف وبذلك يمكن التغلب على عيب المرشح السعوي البسيط . ويمكن الوصول لمستوى أحسن من الترشيح إذا ما تم توصيل المكثف C₁ بين طرفي دخل المرشح ، لكن هناك عيبا مشتركا على



شكل ٨ - ٩ دوائر المرشح الموجي الرئيسية

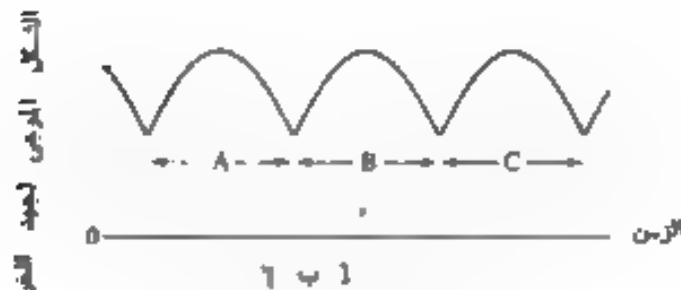
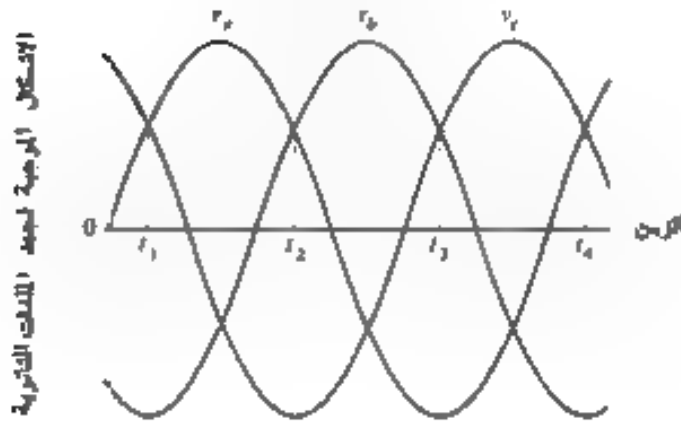
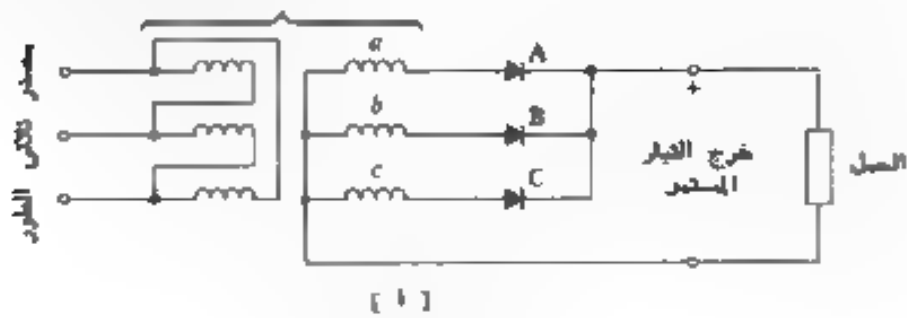
هذا المعدل يمثل في زيادة قيمة سار الشحن الذي يسحبه هذا المكثف من المصدر . ومن عيوب المرشح الأساسي ذي المكثف والمقاومة (RC) هو ما يحدث من هبوط للجهود عبر المقاومة عند مرور سار الحمل بها ، مما يؤدي إلى انخفاض جهد الخرج .

ومن الممكن الوصول إلى مستوى أحسن للترشيح باستخدام المرشح ذي المحث والمكثف LC . ويوضح شكل ٨ - ٩ دوائر المخطوط المتزنة شكلاً أساسياً لدائره مرشح الملف الخافق مع التخل ، والذي يتم محثه L ومكثف C . ومن أجل الوصول إلى مستوى من التشغيل على درجة مرضية ، فمن الضروري أن لا يسمح للتيار المار خلال المحث بالهبوط إلى الصفر ، ولكي يكتل تحقيق هذا الشرط ، حتى في أحوال الحمل الخفيف ، لفقد يكون من الضروري القيام بتوصيل حمل صبة أو مقاوم استنزافه بين طرفي الخرج . كما ينبغي أن يقل تردد رنين الدائرة LC كثيراً عن تردد أدنى موافقات الشكل الموجي للخرج . فإذا كانت قيمة تردد المصدر المقدي للمقوم تساوي 50 هرتز ، ولم استخدام مقاوم الموحدة الكابلية ، فإنه من اللازم أن يقل تردد الرنين للدائرة LC كثيراً عن 100 هرتز . وعلى سبيل الاسترشاد الاستقرائي ، فإن حاصل ضرب L مع C حيث تعبر وحدات L بالهنري ووحدات C بالماراد لمصادر ترددات 50 أو 60 هرتز LC ينبغي أن تساوي أو يزيد عن 0.0001 ويقع قيمة المحث ، المستخدمة بصفة عامة في مرشحات LC لمصادر القدرة الإلكترونية ، في المدى من 3 إلى 30 هنري . ويرداد بحسن مستوى الترشيح باستخدام مكثف أصلي ، C_2 ، عند الحمل كما هو مبين بالشكل . ويعرف الدوائر التي تحتوي على L ، C ، C_2 ، باسم **مرشحات π** (تنطق ماي) حيث أن ترتيب الدائرة يشابه شكل هذا الحرف الإلهدي اليوناني . وتحظر الإشارة إلى أن استخدام المحث أصلاً يعني ضخامة وثقلاً وتكلفة للدائرة إذا ما قورنت مع الأنواع الأخرى .

٧-٨ دوائر المقومات متعددة الطور

تضم دائره مقومات الموجة النصفية الثلاثة الطور ، كما في شكل ٨ - ١٠ [١] ثلاثة دوائر أحادية الطور لمقومات الموجة النصفية . ويتضح ان الدايود A يقوم بتوصيل التيار للحمل كلما كان جهد الانود المرتبط به اعلى من جهد اى من الخططين الاخرين ، وهكذا يوصل الدايود A خلال الفترة الزمنية t_1 الى t_2 [انظر شكل ٨ - ١٠ ب] عندما يكون v_a اعلى جهدا من اى من v_b او v_c . وخلال الفترة الزمنية t_2 الى t_3 يريد الجهد v_b من اى من v_a او v_c ، وينتقل او يتبادل تيار

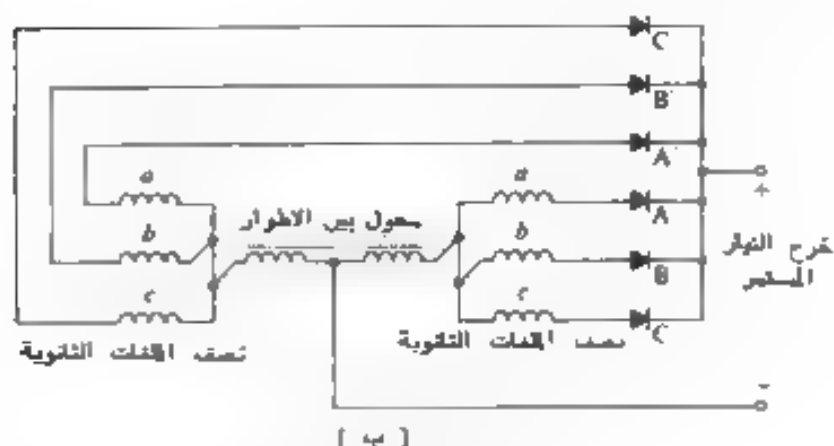
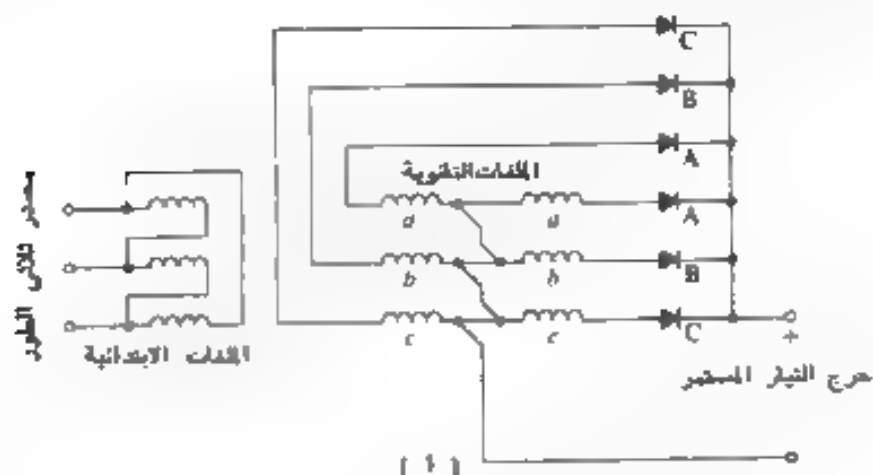
محول لتنا - نجمة .



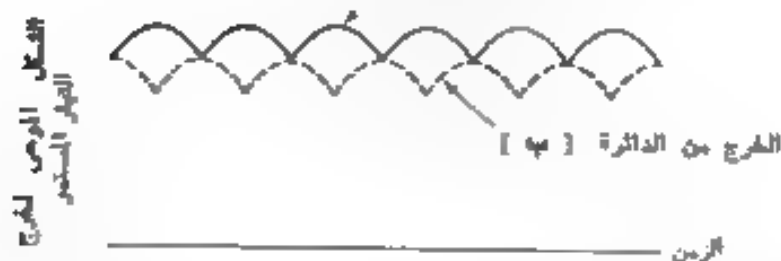
شكل ٨ - ١٠ دائرة مقومات الموجة النصفية ثلاثة الطور

الحمل الى الدايود B . وبالمثل . يوصل الدايود C بحمل الحمل خلال الفترة الرسمية t_3 الى t_4 . وهكذا ، يكون الملف العلوى للشكل الموجية للتيار المرشد ، الشكل الموجي لخرج التيار المستمر ، انظر شكل ٨ - ١ [١] .

ويقال ان دائرة الموجة النصية تنفع بموال التشغيل المفرد . بالمطر الى ان دايود واحد فقط هو الذى يقوم بتوصيل تيار الحمل خلال اى من الفترات الرسمية المذكورة .



الخرج من الدائرة [١]



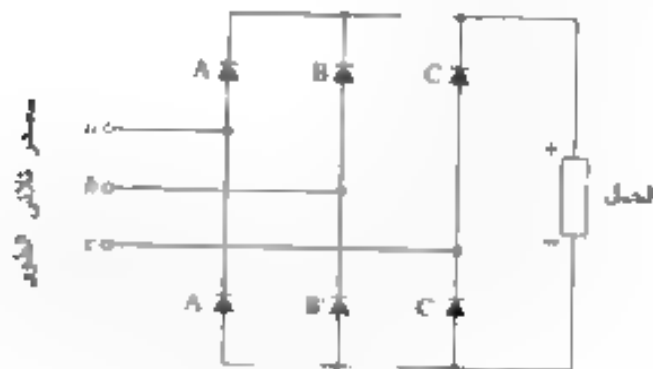
شكل ٨ - ١١ [١] الدائرة الثلاثية المبردة ذات نظام التفرع القوسية [ب] توصلة الجية المبردة [ج] الشكل المرجع لخرج الجهد .

وخلال لحظة الزمن التي يستقل التيار خلالها من دايود إلى دايود آخر
من كليهما يقوم بالتوصيل في آن واحد . ونعرف هذا بالترابك .

ويستخدم مقوم الموجه الكامل ثلاثي الطور والموضح في شكل ٨ - ١١
[١] محولا كهربائيا ثلاثي الطور بملفات ثانوية ذات نقط مفرع بموسطه . مع
الموصلات الموصلة . يوصل مقومات الدايود ابتداء من A ، C ، B ،
 A' ، C' ، B' . بالسابع ، ويسمى الشكل الموجي لحهد الحرج ذي التيار
المستمر علام الشكل الموجي لحهد الملفات الثانوية أنظر شكل ٨ - ١١ ا
ولسوف يلاحظ القارئ أن الشكل الموجي لحهد الحرج قد أصبح أملس
بالمقارنة مع الحالات الأخرى . ونسحه لذلك . من الحاحه لن ندعو . في
أحوال كثيرة . لاستخدام مرشحات موحية مع مثل هذا النوع من التوائر
المسه في شكل ٨ - ١١ . ومن الواضح أن الدائرة الموصلة في شكل
٨ - ١١ [١] تتبع متوال التشغيل المفرد .

ومن الممكن تحسين الاسماع بالحصول الكهربائي باستخدام دائرة
النجم المزدوج . شكل ٨ - ١١ ب . وفي هذه الحالة . يتم ربط كل من
نصفي الملفات الثانوية كهربائيا مع بعضهما عن طريق محول بين الأطوار
أو مفاعل بين الأطوار . وهذا المفاعل له نقطة تفرع بموسطه وله طلب حثي
وسمى محول بين الأطوار لكل من نصفي دائرة المقوم بالعمل كما لو أن
كلا منهما معزولا كهربائيا عن الآخر . ونسحه ذلك . يوصل أنزل من مقومات
الدايود . واحد من كل دائرة في نفس الوقت وبالسابع التالي . مقومي الدايود
 A ، C' ، ثم B ، C ، ثم A ، B ، ثم C ، ثم A ، B ، ثم C ، ثم A ،
ويعرف هذا النظام بالشغيل المزدوج . ويوضح شكل ٨ - ١١ ج . ا
بالخطوط المتقطعة الشكل الموجي لحهد حرج هذه الدائرة . وفي ترتيب
أخرى أكثر تعقيدا ، يوصل عدد من المقومات في نفس الوقت ، ويقال لها
تعمل على متوال التشغيل المتعدد .

ويوضح شكل ٨ - ١٢ دائرة مقوم تقطرية ثلاثية الطور . ونسحه طريقه
تشغيل هذه الدائرة ، بصفة عامة ، نفس طريقه الدائرة القبطرية أحادية
الطور .



شكل ٨ - ١٢ دائرة مقوم تقطرية ثلاثية الطور

فمنها يزيد جهد الحط a عن جهد أى من الحطين b أو c ، مان دايود A يوصل ويكون كل من مقومى الدايدود B و C عكسى الاتجاه . ويرجع التيار الى الحطوط b ، c عن طريق مقومى الدايدود B ، C وعندما يريد جهد الحط b عن جهد أى من الحطين a أو c يتسلسل تيار الحمل للدايدود B .

وقد لدرج من الجدول ٨ - ٢ المتغيرات الهامة للمقومات التى عرست عالية ، حيث V_p هى قيمة ج.م.م. العهد المتردد المسلط بين طرفى المقوم مقاسا بين الطور وسلك التعادل ، و $V_L = \sqrt{3}V_p$

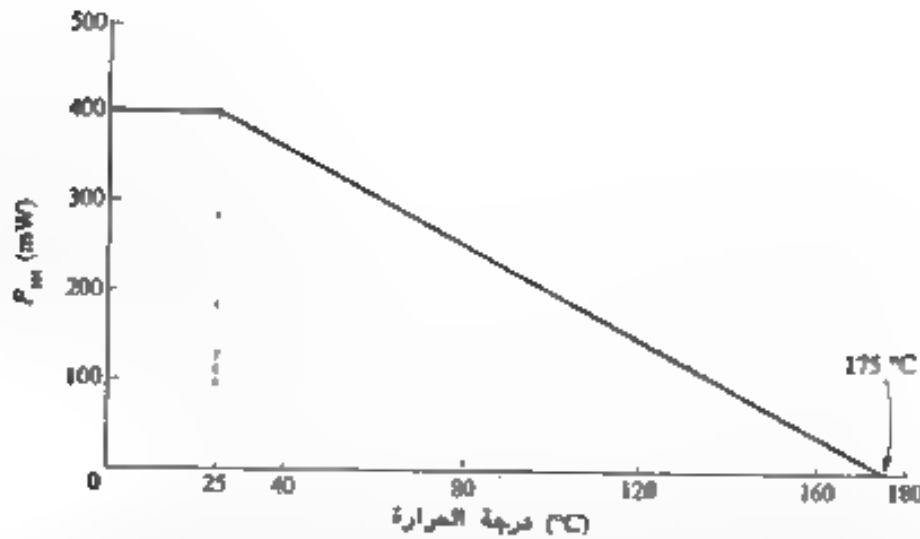
جدول ٨ - ٢ المتغيرات الهامة لدوائر المقوم ثلاثية الطور

نوع الدائرة	القيمة المتوسطة لجهد الحمل	التردد الموجب الرئيسى	التنوع النسبى
الموجة النصفية	1.17 V_p	3f	0.177
نقطة تفرع متوسطة	1.35 V_p	6f	0.04
مجم مزدوج	1.37 V_p	6f	0.04
قطرية	1.35 $V_L = 2.34V_p$	6f	0.04

٨-٨ منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة

ودرجة الحرارة المحيطة (Derating Curves)

تحدد الحرارة المولدة فى الدايدود أثناء التشغيل العادى من الوصلة النشئية الى الخارج فى الجو المحيط . ويصل الدايدود فى النهاية الى توارن حرارى عندما تزيد درجة حرارة الوصلة عن درجة الحرارة المحيطة بقيمة ثابته . وعندما تكون درجة الحرارة المحيطة مرتفعة [ونعنى بمرتفعة أن درجة الحرارة تزيد عن 25°C] ، ميسقى أن تقل القدرة المبددة من الدايدود ، حتى لا تزيد درجة حرارة الوصلة عن حشد الامن . ونعنى المصطلح منحنيات تبين العلاقة بين القدرة الكلية P_{tot} المبددة من الجهاز الى الجو المحيط ودرجة الحرارة المحيطة [انظر شكل ٨ - ١٣] .



شكل ٨ - ١٢: منحنى العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة

ويربط المنحنى الموضح عاليه بمجموعة من وحدات الدايود (BAV 19-21) التي تطلق قدرتها الكلية P_{tot} المقتنة بما يعادل 400 mW وبحيث لا يسمح لدرجة حرارة الوصلة أن تتعدى 175°C . وتنقص القدرة المبددة للدايود بانطدام من 400 mW إلى الصفر عبر مدى لدرجة الحرارة من 25°C إلى 175°C ، بمعدل $2.67 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$. وبعد درجة حرارة مقدارها 25°C ، يعرف مقلوب ميل هذا المنحنى بالمقاوم الحراري $R_{\text{th-j-a}}$ الذي يحكم حرارة الوصلة مع درجة الحرارة المحيطة ، حيث

$$R_{\text{th-j-a}} = (175 - 25)^{\circ}\text{C} / (400 - 0) \text{ mW} = 0.375^{\circ}\text{C}/\text{mW}$$

٨ - ٩: وقاية الوصلات التثاقية

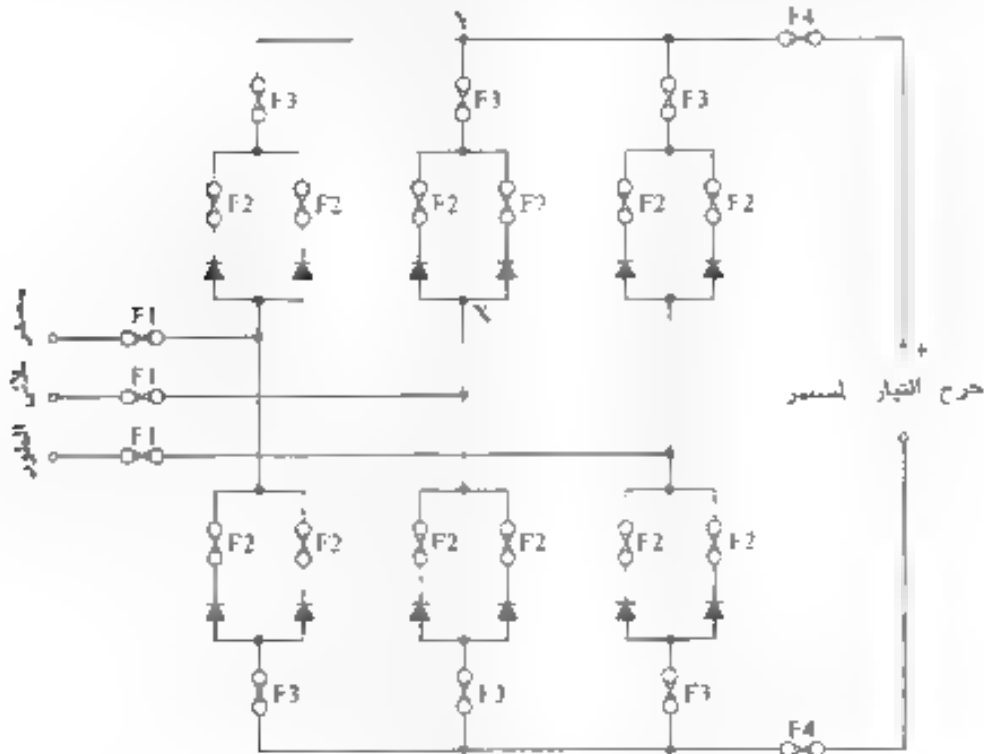
تتعرض وصلات أشباه الموصلات للتلف نتيجة عديد من الاسباب التي سوف نناقش أهمها فيما يلي :

عند توصيل أو فصل المحولات الكهربائية في حالة اللاحمل ، يتغير تيار المعنطة بطريقه مفاجئة ، ويمكن في هذه الحالة أن تتعرض الخطوط لجهود مستعنة مرتفعة القيمة وقد تتعدى قيمة هذا الجهد المستحث ، بالنسبة لأي دايود متصل بالخطوط ، قيمة جهد انهياره العكسي . وحتى تمنى الحد من قيمة الجهد المستحث ، فمن المعتاد أن يتم توصيل أما دائرة مقلومة ومكثف RC متصلين على التوالي أو مقوم تابع الجهد بين كل زوج من أسلاك التيار المتردد والتي تعدى دائرة المقوم . وتكون وظيفتها هي امتصاص بعض الطاقة من الجهد العابر .

ومن الضروري أن يتم تصميم نظم المقومات للتشغيل في مدى التغير المعتاد لدرجات الحرارة والمرتبطة بالمشاة . من أجل كل هذا ، ينبغي أن يتم تركيب مقومات الدايود بالطريقة الصحيحة وأن يوفر لها التهوية المناسبة .

وان استلزم الامر تشغيلا في درجات حرارة متزايدة ، فمن الواجب ان يأخذ في الاعتبار معاملات تدد القدرة الملائمة طبقا لدرجة الحرارة الملائمة .

ومن المعلوم ان أي خلل للمقومات قد يكون مكلما ، لذا يسعى مهندس نظم وقاية شاطئه . ويوضح شكل ٨ - ١٤ ترتيبه متداولة لدائرة قطريه . ويتكون كل ذراع من اذرع القنطرة ، من مصنع وحدات من الدايود متصلة على التوازي وفي بعض الاحوال ، متصلة على التوالي مع التوازي . ويستلزم الامر توفير الوقاية لكل وحدة دايود حيث ان عطل حليه واحده من خلايا المقوم قد تؤدي الى حدوث قصر مسلط بين الحطوط عندما يبدأ ذراع القنطرة التالي في التوصيل .



شكل ٨ - ١٤ شبكة التوازي من المصهرات

ومن الحائر ان بدء احماق هذه الحلبة كان مسحه جهد رائد او سبحة لسان زبند . ويعد مومر وقاية احتماليه باستخدام مصهرات ذات سعة قطع عالية (HRC) في المكان F1 كما هو مبين بالشكل ومن ناحية التيار المتردد المعلوم .

وعند تشغيل المصهر في احوال العطل ، فمن المحتمل ان يتولد تعيرا لحظيا معاجنا لجهد يعوقد الامر لوحداث اداود ولا يتطلب الامر امن وقاية المقوم مقبل بل مصنع من الختم ايضا وقاية كل مجموعة من الخلايا بمصهرات بحيث يولد خلال متره البعير اللحظي طاقة ذات فيه اقل من تلك التي يمكن ان تؤدي الى احماق الحليه او مجموعة الخلايا . ونهيه المصهرات F2 ، F3 يوسمها في شكل ٨ - ١٤ مثل هذا النوع من الوقاية . ويبدل قصر من الاهتمام لموائمة خواص هذه المصهرات مع خواص خلايا المقوم .

ومن الممكن أن تعمل جميع المصهرات في نفس الوقت ، عند حدوث عطل من جهة التيار المستمر للمقوم . لذا يصبح من المحتم تغيير نوع من التمييز بين مصهرات HRC في الوضع 34 وبين المصهرات الأخرى في السدائرة .

وعلى وجه الخصوص ، تصنع مرموصات القويوت لأغراض نظم القوى الكهربائية على هيئة نماذج حاهرة . وتعتبر الدائرة بين X ، Y في شكل 8 - 14 نموذجا شائعا .

8 - 10 وحدات دايود زينار

وحدات دايود زينار هي سائط ومولات (م - س) التي تريد شوائبها المترجة عن شوائب الدايود الممتد ، بحيث يحدث الانهيار العكسي عند قيم جهد أقل نسبيا . وسواجد تجاريا وحدات دايود زينار مجهود انهيار عكسية تقع في المدى بين مصع وحدات ويضع مئات من وحدات الفولت .

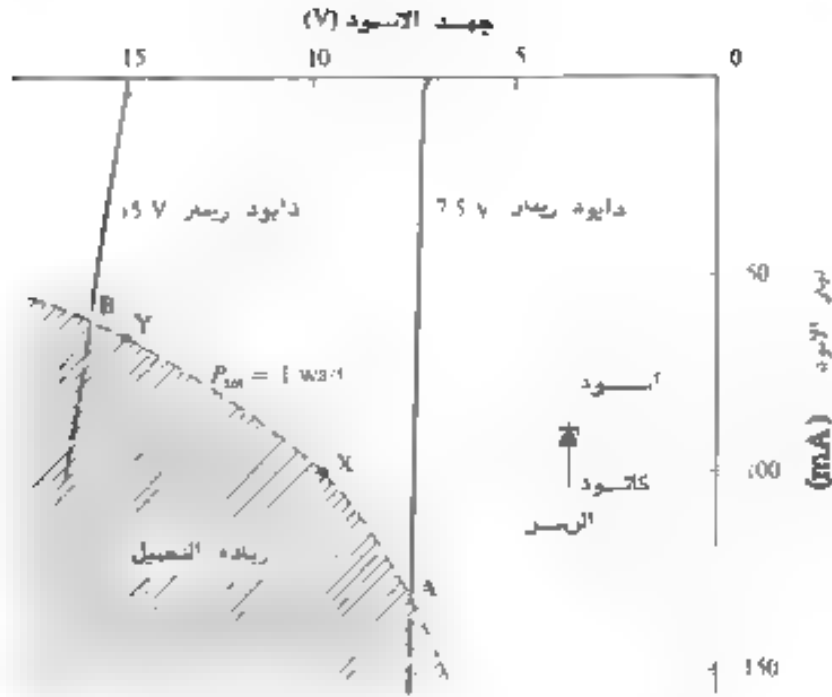
وتتأطر خواص الانهيار العكسي الموصحه في شكل 8 - 15 وحدتي دايود لها جهد انهيار اسمي قيمته 7.5V ، 15V على التوالي . ويحدد نطاق تشغيل هذه الخواص بالقدر الاحصالية P_{tot} التي من الممكن أن تتددها البسطة . نادا بلغت قيمة هذه القدره 1W . فان نطاق التشغيل يحدس داخل قطع رائد تعطى معادلته كما يلي :

$$P_{tot} = VI = 1W$$

حيث V يمثل الجهد عبر الدايود ، I يمثل تيار الدايود . نحدد النقطة X من محس P_{tot} فان $V = 10V$ ، ونكون قيمة التيار I مساوية لـ 100 mA أو 0.1A أو 1/10 . ويبر المحس بالنقطة Y حيث $V = 15V$ ، $I = 66.7 \text{ mA}$. ونحدد القيمة القصوى للتيار الذي يسحه الدايود بتقاطع خواص الدايود مع محس P_{tot} فالنسبة للدايود 7.5V تصبح هذه النقطة عند A حيث $V = 7.75V$ ، $I = 129 \text{ mA}$. وبالنسبة للدايود 15V تصبح هذه النقطة عند B حيث $V = 16V$ ، $I = 62.5 \text{ mA}$.

وسوف يدرك القارئ أن الجهد عبر الدايود يزيد قليلا جدا مع تزايد التيار في كل حالة وهذا عائد الى مقاومة الدايود الداخلية .

وينسوع استخدام وحدات دايود زينار طبقا لمناول الانهيار العكسي ، مع توصيل الدايود لقطب المصدر الموجب . ونستخدم وحدات الدايود من هذا النوع كمخرج لمصدر جهد من ضمن التطبيقات الشائعة .



شكل ٨ - ١٥ خواص دايود ريسر الانجارية العمل

وبصح منه هذا يرجع أن يعطى قيمة للجهد على قدر كبير من الثبات غير مدى واسع من أحوال التحميل والحرارة . وقد تحطت استجابات مصادر الجهد من وحدات دايود ريسر كافة الخلايا النقطية التي كانت تستخدم منذ فترة .

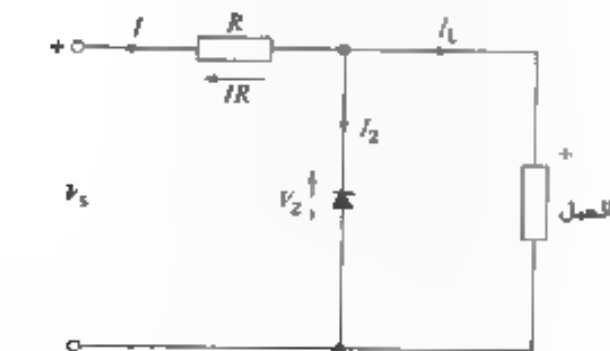
وبوصح شكل ٨ - ١٦ دائرة اسناد جهد أساسية تستخدم دايود ريسر . ومن الممكن في هذه الدائرة تعينه مصدر الجهد عبر المستقر V_s عن طريق مقوم قطري ومن معه مرشح موجي . ويتحتم أن يمر تيار خلال دايود ريسر أثناء التشغيل العادي حتى في حالة فصل الحمل . وكاسترشاد تقريبي بالنسبة لمستويات الجهد الشائعة ، من القيمة الاسمية لجهد المسح V_s تقع عتاد في المدى من حوالي $1.5V_z$ الى $2V_z$ ، حيث تمثل V_z جهد انهيار دايود ريسر . وسنقدم ميب يلي طريقة مسطه لتصميم دائرة اسناد للجهد .

لنمرص أن المطلوب هو تصميم دائرة اسناد للجهد من الطراز الموضح بشكل ٨ - ١٦ لكي يعطى تياراً قدره 100 mA على ضغط قدره $5.5V$. ولكي يحدد قيمة R . يلزم اختيار قيمة V_s المستخدمة في لدائرة ولكن $10V$ فكما سبق وأوضحنا نتحتم أن يمر التيار خلال الدايود بصفة مضمرة ، أي أن مستمر تشغيل الدايود على منوال الانهيار العكسي طيلة الوقت . لنضع الآن قيمة لتيار الدايود مساوية 1 mA . ففي حالة تيار حمل قيمه 100 mA

بالإضافة إلى سحب لتيار خلال الدايود قيمته 1mA على فرق الجهد بين

$$\text{طرفي } R \text{ يكون } IR = V_E - V_Z$$

$$R = (10 - 5.5)/0.001 = 44.6 \Omega \quad \text{لذا}$$



شكل ٨ - دائرة دايود زنر كمراجع لمصدر الجهد

فإذا افترضنا أن مقادير متفاوتة مسموح به في حدود $5 +$ في المائة متواحدة ، على الاختيار يحصر ما بين قيم قدرها 39 أو 43 أو 47 . ومن الضروري أن تسمح قيمة المقاومة المختارة بتوفير 1mA على الأقل خلال الدايود مع جهد للمصدر قيمته 10V بالإضافة إلى سار الحمل ومقداره 100mA . من هذا يصبح ، أدنى ، أن قيمة المقاومة المختارة لابد ولن تقل عن 44.6 . ويمكن جدولة توزيع القيم المختلفة للمقاومات كما يلي .

القيمة المنتقاه (Ω)	أدنى قيمة (Ω)	أقصى قيمة (Ω)
47	44.65	49.35
43	40.85	45.15
39	37.05	40.95

بمبالغة للقيمة المنتقاه 43Ω ، يتضح أن أقصى قيمة لها تتوافق أدنى قيمة يمكن تحملها ، وهكذا نختار مقاومة بقيمة منتقاه 39Ω . وسنفترض فيما يلي أن قيمتها الحقيقية تساوي 39Ω ، عندما يكون $V_E = 10\text{V}$ ، ومع تيار حمل مقدار 100mA ، على أدنى قيمة لشار الدايود تسمح 15.4mA [وتصح القدرة المستهلكة كما يلي :

$$P = (V_E - V_Z)^2/R = (10 - 5.5)^2/39 = 0.52\text{W}$$

ومن المؤكد أن مقاومة بقدره مقسمة قدرها $1W$ سوف تلائم هذا العرض ،
وحيث أنه قد تم اختيار مقاومته مقدارها 39Ω ، في قيمة التيار المار
في R يصبح

$$I = (V_3 - V_2)/R = (10 - 5.5)/39 = 0.115 A = 115 mA$$

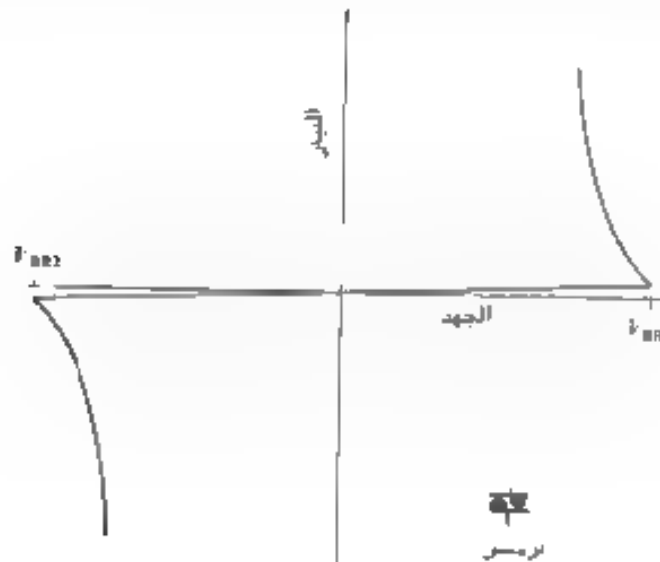
فلذا ما تم فصل الحمل ، ما في هذا القدر من التيار سوف يمر خلال الدايود ،
ويصبح التفتين ، P_D ، للدايود

$$P_D \geq V_2 I = 5.5 \times 0.115 = 0.6325 W$$

حيث أن تقريبا قدره $1W$ للدايود يكون ملائما .

٨ - ١١ دايود الانهيار مزدوج الاتجاه (دايك)

أ- وحدة دايود الانهيار مرتوحة الاتجاه ، والتي يرجع اليها عادة تسميتها
المحاري **دايك** ، هي سائط ذات طرفين من الأسلاك وليست بعد شبيها عن
وحدات الدايود الصغيرة ، ولها خواص مشابهة لسلك المسنن في شكل
 $1V$ A معتمداً على الجهد عبر الدايود عن قيمة جهد الانهيار V_{BR1} ،
فإن الدايك يمنع مرور التيار ، وعند جهد V_{BR1} ، يبدأ الدايك في التوصيل
ويستقر الجهد عبر طرفيه إلى قيمة أصغر ، ويرتد الدايك إلى حالته المتعة
عندما يتم انقاص التيار المار لقيمه تقل عن حد أدنى معين لمثل هذا النوع
من السائط . ويتبع منه هذا الحد الأدنى عادة بين حوالي 50 إلى
 $300 \mu A$ كما يظهر الدايك حالته الانهيار الكهربائي عندما يعكس جهد
المصدر ، فيحدث الانهيار عند V_{BR2} .



شكل ٨ - ١١ خواص واصطلاح دايود الانهيار مزدوج الاتجاه (دايك)

وتقع قيم انهيار الجهد عادة في امدى من 30 الى 50V . وليس من الضروري ان تتساوى قيم كل من V_{BR1} و V_{BR2} . فكلما اختلفت قيمتها عن الآخر بها قيمته تضع وحدات من المولت .

وسنستخدم وحدات الدايك عادة كمئات بفريغ سمويه . وليس مثل هذه الدوائر . يقوم المكثف بداء دور مصدر طانه دى معاوقه بمنخفضة القيمة ويوفر . علاوة على ذلك . يحسن طاقته عطيه لمرء رمنية متناهية العصر ، امء مريعة خلال دايك . ويعتبر مولد النصب المستخدم مع النابض والبراك و حدا من الاستخدامات المألومة لوحدات الدايك [انظر الفصل الخامس عشر] .

الفصل التاسع

وحدات الترانزستور

٩ - ١ أنواع الترانزستور :

١- التطور السريع في تكنولوجيا أسماء الموصلات أدى إلى تصنيع مجموعة مذهبة من الترانزستورات ، [الاسم ترانزستور هو اختصار كلمتي مقاوم التحويل TRANSfer reSISTOR ، ولحسن الحظ ، يمكن صيغ الترانزستور إلى نوعين أساسيين هما :

١- وصلات الترانزستور ثنائي القطب (BJTs)

٢- ترانزستورات التأثير المحلي (FETs)

يؤخذ اسم ترانزستور ثنائي القطب من مطلق الحزمة التي تقول أن كلا من حاملات الشحنة الموجبة والسالبة أي الفجوات والإلكترونات تشارك في مكانتها أسباب التيار ، وسمى وحدات ترانزستور التأثير المحلي بهذا الاسم لأن محالا كهربائيا يحكم ويشير في عملية أسباب التيار في وحدات ترانزستور التأثير المحلي ، نوع واحد من الشحنات الحاملة التي يمكن أن تكون الإلكترونات أو عيوب ، وبما لهذه الحزمة توصف ، وحدات ترانزستور التأثير المحلي أحثا على أنها مناطق ترانزستور أحادية القطب .

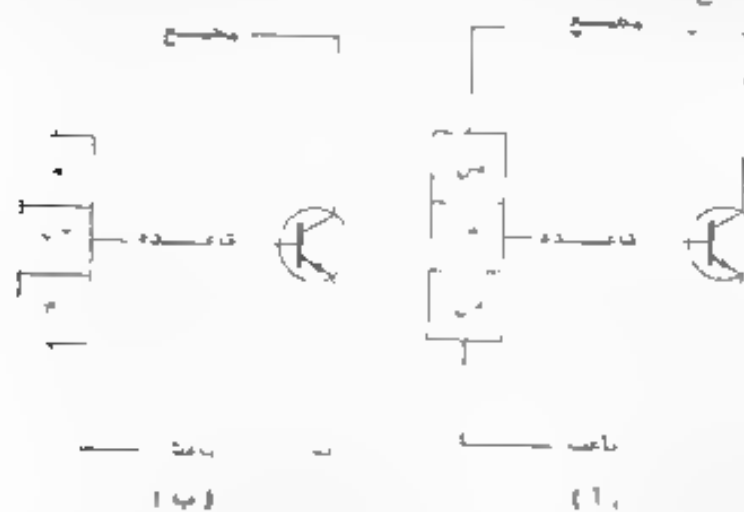
٩ - ٢ وصلات الترانزستور ثنائي القطب

يمكن تقسيم المجموعات السابقة إلى تصنيفات فرعية أخرى مستوحى نسب على أيها ، أن وحدة الترانزستور ثنائي القطب هي سطة شبه موصله من ثلاث طبقات سم بصنعها إما من شريحة أو نفاثه واحده من المادة شبه الموصله والتي تكون عادة من مادة السليكون بالرغم من أن مواد أخرى من صممت ، يحدد الخصائص والحلوم

تستخدم أيضا . ويعرف منطق الترانزستور الثلاث بأسماء الباعث والقاعدة والمجمع ، على التوالي ، وهي موضحة في شكل ٩ - ١ .

ويستعمل نوعان أساسيان من وصلة الترانزستور ثنائي القطب هما ترانزستورات سالب - موجب - سالب (بي - م - سي) ، و ترانزستورات موجب - سالب - موجب . م - سي - م . كما هو موضح في الشكل . والامتداد الطبيعي للسطح الحبيبيته المستعملة في تطبيق القدرة المحمصة صغيره جدا . مثلا نضع مساحة الأنواع السطحية $7 \times 30 \mu m$ ، حيث $1 \mu m = 10^{-6} m$ وبالمقطع : فإن الحجم الطبيعي لكتل الترانزستور يريد كثيرا من ذلك . انظر شكل ٩ - ٢ .

لإمكانه سهوله التدوير . ولكي يمكن ادراك مدى صغر هذه الامتداد بالنسبة لمقايير واقعيه ، فإن سمك صفحة هذا الكتاب يبلغ حوالي $100 \mu m$ ومع هذا انقدر من الامتداد ، تصبح مراقبة الحثوده أمرا صوبا جدا عند تصنيع الترانزستور .



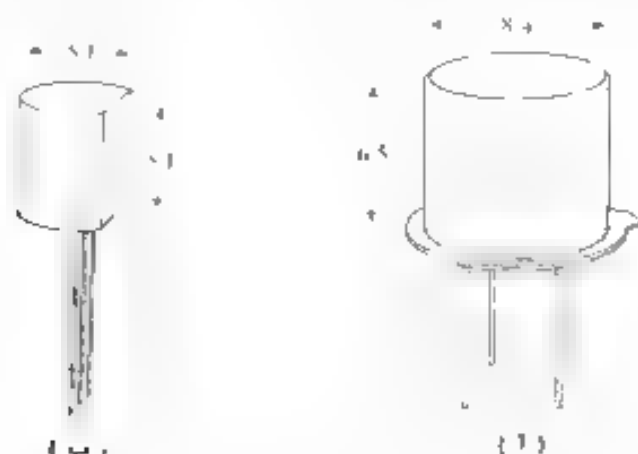
شكل ٩ - ١ رموز الترانزستور : ١ أسي - م - سي و ٢ بي - م - سي - م

هذا وسنقوم بمناقشة الأساليب المصممة للامتداد في الفصل الثاني عشر . ولا ينبغي أن ننسى أن تذكرا مما سبق ، يصنع منطقة قاعدة الترانزستور لكي تكون سميكة رقيقا بقدر الإمكان ، فقد يصل هذا السمك : مقاسا بين الباعث والمجمع . إلى درجة من الصغر يعادل $0.5 \mu m$ وعلى سبيل المبالغة . فلنذكر أن الطول الموصلي للضوء الأخضر يعادل حوالي $0.5 \mu m$.

وسنرى وصف عمل الترانزستور بتعبيرين بسيطين : إذا تؤدي منطقة الباعث دور الباعث لحاملات الشحنة التي تحمى أخيرا في منطقة المجمع . ويعمل منطقة القاعدة بدور الإلكترون الذي يحكم في تهيئة مسار المجمع . ومن المعلوم أن قرباتيه أنه يوصل التيار باسمه بالمعقيد . وسنمضي شرح مسط لها في الفصل ٩ - ٢ .

1 يمكن ان يرجع القارئ الرابع في الحصول على معلومات تفصيلية
الى كتاب *Integrated Electronics* تأليف *Millman and Halkias*
الناشر McGraw-Hill

ويمتد تصميم الترانزستورات في مدى واسع من الاشكال الطبيعية
الاشباه ٩ - ٢ شان منها مبيان في شكل ٩ - ٢ وفي شكل ٩ - ١ | ١ |
يحكم اتصال الطبقة المصدية التي تشبه شكل القنبعة ٩

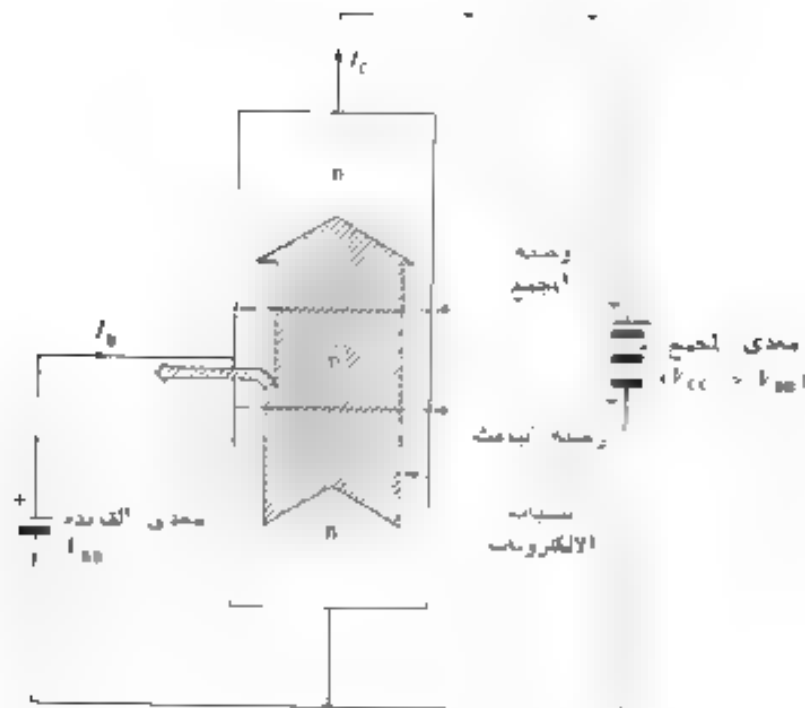


شكل ٩ - ٢ توصلات الترانزستور ١ طبقة مصدرة طراز To-5 و ٢ ب | احدى
صور التوصلة اللاصقة | جميع الابعاد بالملليمتر .

ويمكن استحداثها في مدى واسع من درجات الحرارة يتراوح عادة بين
 55°C - الى 150°C . اما النوع الثاني ٩ - ٢ ب | ا على
هسته كموصله البلاستيك . فهو شائع جداً ويسمح في مدى واسع للمعدات
الصناعية والمنزلية .

٩ - ٢ عمل وصلة الترانزستور

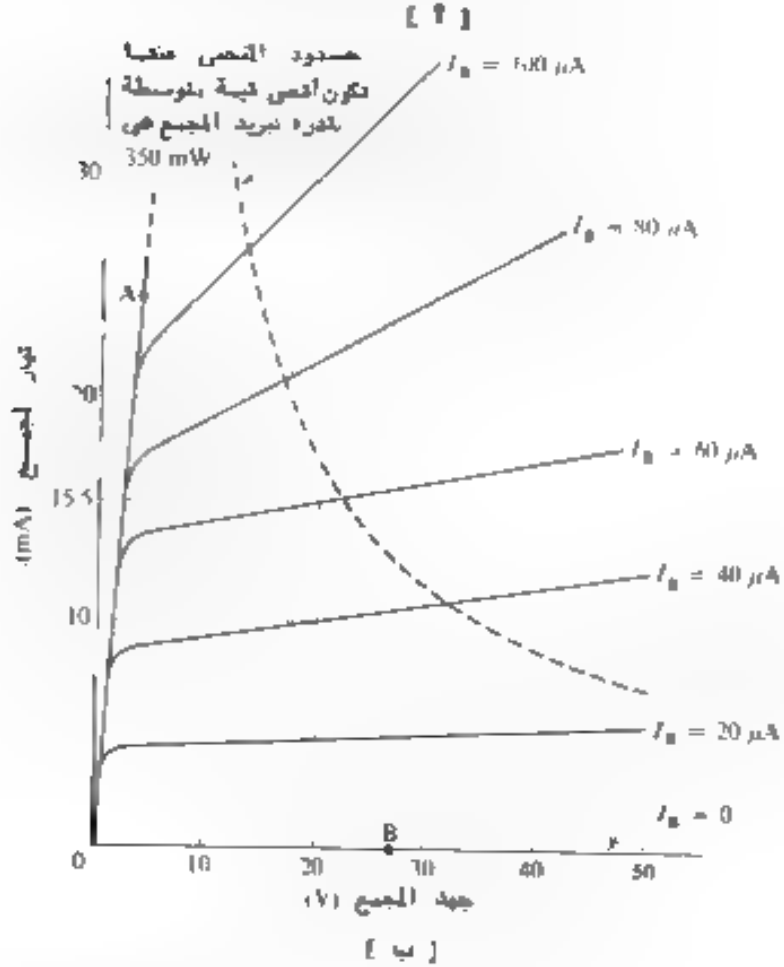
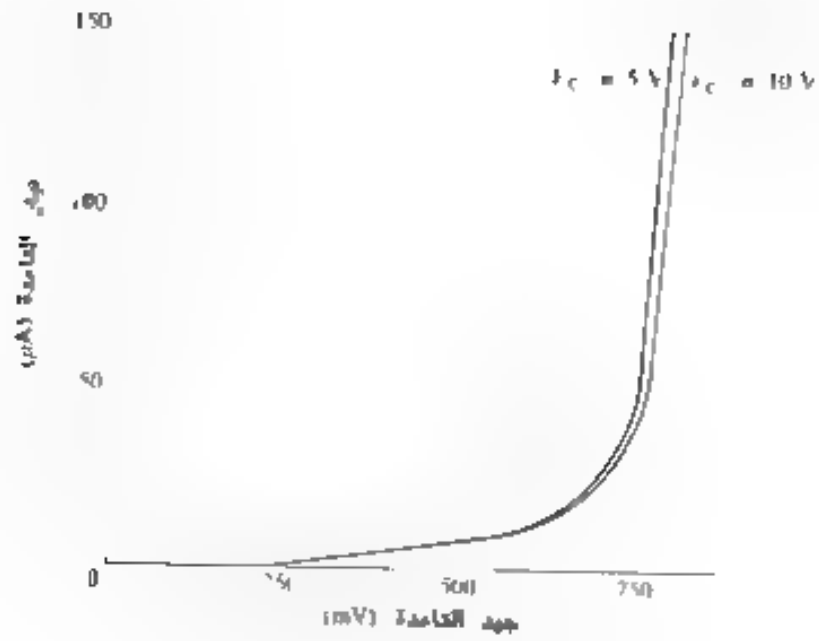
يمكن شرح عمل كل من وصلي الترانزستور م - م - م والترانزستور
م - م - م باستخدام فكرة سار الانسياب ونسار الانشطار اسي سبق
الاتسوة انها في الفصل الاول . ومعالج منطقيا الباعث والمجمع ، في كلا
النوعين من انواع الترانزستور باضافة مزيد من التوائب لكي تكسبا
موصلية عالية . ومعالج منطقة القاعدة باضافة قليله ، ونكسب موصلية
منخفضة القبه . وسيخصص الوصف التالي لنوع الترانزستور م - م - م
من . المبين في شكل ٩ - ٢



شكل ٩ - ٢ توصلة الباعث المشترك

في احوال التشغيل العادية كمضخم تكبير ، يكون وصلة م - م من القاعدة الى الباعث ايجابية الانحياز . حيث توصل منطقة القاعدة من النوع - م للقطب الموجب للطارية V_{BB} . ويوصل الباعث من النوع - م للقطب السالب . وهكذا - يحدث انسياب التيار بين منطقتي القاعدة والباعث . وبما ان منطقة الباعث معالجة باضاثبات من الشوائب الكثيرة ، فإن العرصة تصبح مهيدة تماماً لانسياب الالكترونات الى منطقة القاعدة . وحيث ان توصلية منطقة القاعدة منخفضة القيمة . فإن عدداً قليلاً يسير من الالكترونات العالمة للوصله يمكن من الانحدار مع العدد الصغير من الحوامل ايساحه تقادير على الحركة في منطقة القاعدة . وكسبحة لذلك . يتواحد تركيز عال من الالكترونات في القاعدة حيث يسير حاملات الشحنة من الالكترونات هناك اقلية ويقوم مصدر الجهد V_{BB} بتعويم الباعث في المحوالت التي يكون قد احدث بالعمل مع الالكترونات في منطقة القاعدة نوعاً م . مما يؤدي الى مرور سار القاعدة للترانسستور .

ويريد قيمة جهد المجمع V_{CC} عادة عن جهد دائرة القاعدة V_{BB} مما يؤدي الى ان يصبح وصلة المجمع عكسية الانحياز ومع كل ذلك فإن تركيز الالكترونات العالية يسحب نحو الجهد الموجب المسيطر على المجمع . ويصل الى منطقة المجمع معظم هذه الالكترونات . وقد وجد . في التطبيق العملي ان 99-99.9 في المائة من عدد الالكترونات الفاركة للباعث ، تصل معلا



شكل ٩ - أ - الخصائص المميزة [أ] الدخل و [ب] خرج الباعث المتحرك

يستخدم المولسيترات الإلكترونية المعيرة بالحروف EVM في شكل ٩ - ١ لقياس الجهود في الدوائر حيث أن مقاومتها الداخلية كبيرة جداً (في العادة أكثر من 10 M) وتتحمل تياراً صغيراً جداً - ومقياس النسبة السابعة هامه على وجه الخصوص في دارة القاعدة - لأن فيه تيار القاعدة قد يقع في حدود مصنع وحدات من الميكرو سيكر معد - مجهزة القياس بالملف المحرك المتعددة تحتاج لكمية ملحوصه من التيار في العادة 25 mA التي بداهه تعطى انحرافاً غير بتوزيع القياس .

يعين خواص الخرج أو خواص المجموع بحد مناسب لكل من تيار المجموع I_c وجهد المجموع V_c انظر شكل ٩ - ٥ ب - على أن يرسم كل معطى معبر لخرج عند قيمه ثابته لتيار القاعدة - ويظهر خواص الخرج أن التردد في تيار القاعدة يؤدي إلى زيادة من تيار المجموع - وهكذا - يمكن استحداث تيار القاعدة كوسيلة للتحكم في قيمة تيار المجموع - وعلاوة على ذلك يؤدي معبر معين من تيار القاعدة إلى معبر أكثر بكثير من تيار المجموع - معتمد جهد مجمع قيمه 20V في الشكل - يجمع فيه تيار المجموع عند تيار قاعدة $40 \mu A$ يساويه 10 mA . وعند نفس القيمة لجهد المجموع يجمع تيار المجموع 155 mA مع تيار قاعدة مقداره $60 \mu A$ ومبني من القطب المتعبرين يؤدي معبر في قيمة تيار القاعدة مقداره $30 \mu A = (40 - 60)$ إلى معبر قيمه 5.5 mA (10-155) لتيار المجموع - ومعرف النسبة من هذين المعبرين في التيار يكسب تيار الم باعث المشترك في حالة الإشارة الصغيرة للترانسفور ويخصص لها الرمز h_{fe} ! لمعادنه أكثر شمولاً للترانسفور انظر كتاب Industrial Electronics وانما Advanced Industrial Electronics للمؤلف N. M Morris والناشر Mc Graw-Hill ومن ثم

المعبر في تيار المجموع

$$h_{fe} = \frac{\text{عدد قيمة ثابته لجهد المجموع}}{\text{التيار في تيار القاعدة}}$$

$$275 = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}}$$

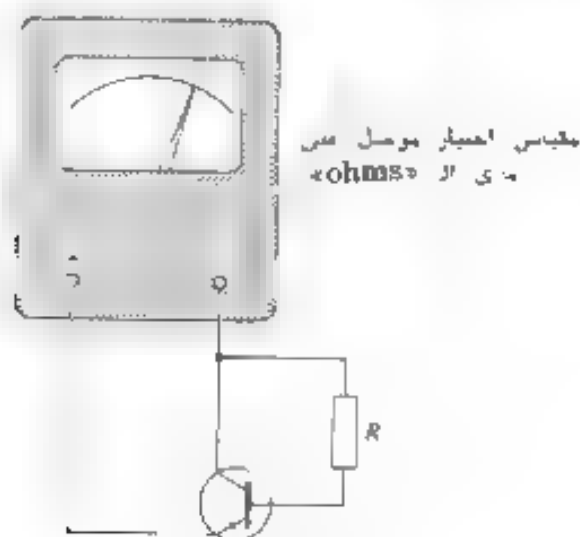
هذا وتشير القيمة المرتفعة للبارامتر h_{fe} إلى أن الترانزستور حساس بالنسبة لتيارات إشارة ادخل - وهي خاصية مرغوبة من معظم المعطيات - ومن الممكن أن يقع فيه كسب التيار في المدى من 20-900 حيث يرجع اليه الأمل لوحدات ترانسفور القدرة ومرجع القيمة الأعلى لوحدات الترانزستور المستخدمة في مكبرات الإشارات الصغيرة - وعلى سبل المثال - قد يقع مدى كسب التيار في المدى من 20-70 - بالنسبة لكبر قدرة من الترانزستور قادر على تبديد 120W - بينما قد يكون كسب التيار واسع في المدى من 400-900 - بالنسبة لوحدات الترانزستور المستخدمة في المكبرات ذات الكسب العالي - وفي حالة لاخره - قد يكون من المحتمل أن يكون فيه أقصى قدرة يستطيع السطه أن يتددها أقل من 0.4 W تقريباً .

وسلاحظ القارئ ان اسحبيات المبرء للجمع يساعد كل منها عن الاخره كلها فرائدب فيه جهد المجمع . ونعرف هذه الظاهره باسم « النثر المكر » ويعود الى مفاضل حقيقي في عرس القاعده كلها ارداد جهد المجمع . مما يؤدي الى زياده كسب اسار . وفي الاخوان العاديه . يعبر هذا الاثر عبر ذي اهميه . الا انه من الممكن . في بعض الاحوال . ان يسبب شوها في اشارة الحسرج .

ونصف الدوائر . التي نستخدم وحداب الترانزستور على صوره الباعث المشترك . سببب يؤدي الى كسب اسار وكسب جهد وكسب قدره نعم على قدر كلف من الاربع وذلك بين دائرتي الدخل والخرج . وقد ادب هذه السببب الى ان اصعبت صوره الباعث المشترك اكثر توصلات الترانزستور انتشارا

معبد اجمالي قيمة جهد المجمع . في العاده بين $0.2V$ و $0.5V$. يؤدي نسلط سار ماعده بقيم مسيره في الترايد . الى ان يجمع الترانزستور للعمل في حاله تشبع بملها النقطه A في شكل ٩ - ١٥ ب ملدا انفس سار اتعاذه الى الصغر . ساقص فيه تار المجمع من الوجهه العمله . الى الصغر . ويقال ان الترانزستور اصبح في حاله قطع . نملها النقطه B في شكل ٩ - ١٥ ب . وعند استخدام الترانزستور كمنحاج ا سطر الفصل الحادي عشر . مانه يعمل عاده اما في حاله تشبع او في حاله قطع .

ويوضح شكل ٩ - ٦ طريقه بسيطه لاختبار الترانزستور باستخدام مقاييس متعدد القياسات . فعند استخدام المقاييس على موال «ohms» . ستخدم البطارية اداخله لجهاز الاختبار لقياس مقاومه الدائرة الخارجيه . بحيث يتصل القطب الموجب للبطارية الداخله بطرف الجهاز

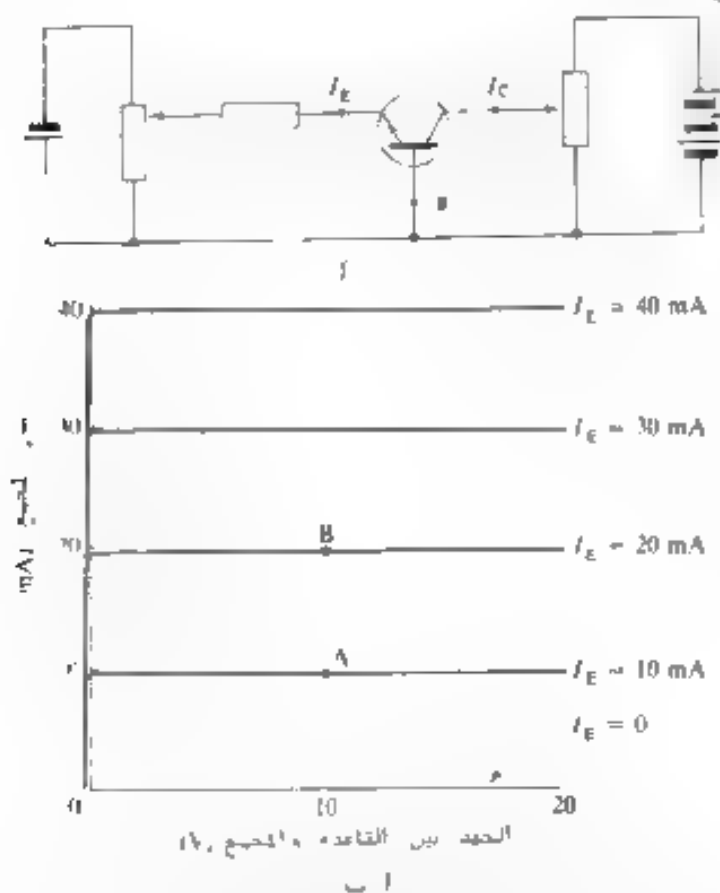


شكل ٩ - ٦ طريقه بسيطه لاختبار الترانزستور

عند علامه * - فيما يتصل القطب الثالث منها بطرف الجهاز عند علامه * + . أنظر أيضا الفصل السادس عشر . مادام تم توصيل بمقاومه R تقع قيمتها في المدى ما بين $1\text{ k}\Omega$ إلى $10\text{ k}\Omega$ بين القاعدة والمجمع لوحدة توافر سوليم . فإن المراءء المألوه للمفاس منحصر في المدى من $1\text{ k}\Omega$ إلى $5\text{ k}\Omega$ ويمكن أن يشير الجهاز إلى مقاومه مقدارها مالا بهذه إذا فصلت المقاومه R .

٩ - ٥ توصيلة القاعدة المشتركة

يوضح شكل ٩ - ١١ واصله ترانسفور بيانه القطب من النوع من - م - من في الوصلة ذات القاعدة المشتركة . حيث يوصل الكترود القاعدة بالخط المشترك الذي يربط بين مستوى الدخل الباعث والخرج [المجمع] .



شكل ٩ - ١١ دائرة اختبار لتعيين خواص توصيلة القاعدة المشتركة و ا ب مجموعة نظيدية لخواص خرج توصيلة القاعدة المشتركة

وعند محص السدائره . يلاحظ ان كلا من تيارى المجمع والقاعدة يساوي في دائرة الباعث من ثم . يكون تيار الباعث

$$I_i = I_c + I_b \quad ٩ - ١$$

وتتحت خواص الحرج للترانزستور في حالة القاعدة المشتركة ، يسميه عامه اسكالا شبه بحساب الموصحه في شكل ٩ - ٧ | ب ، ومن هذه الخواص الموصحه ، نجد ان تيار القاعدة يساوي $40 \mu A$ أي $0.04 mA$ عند تيار سبه تيار المجمع $10 mA$. وعند التعويض بهذه الارام في المعادله ٩ - ١ | نجد ان

$$I_E = 10 + 0.04 = 10.04 mA$$

اي ان سبه تيار المجمع تكاد تساوي بالتقريب ، قيمة تيار الباعث . وحيث ان تيار الباعث هو تيار الدخل للترانزستور وتيار المجمع هو تيار الخرج ، فان كسب تيار القاعدة المشتركة في حالة الاشارات الصغيره يكون

$$\frac{\text{تغير تيار الخرج}}{\text{تغير تيار القاعدة}} = \frac{\text{المعبر في } I_C}{\text{المعبر في } I_E}$$

بمجمع من الخواص المسببه في شكل ٩ - ٧ | ب ، ان معبرا مقدار $10 mA$ في سبه تيار الباعث | من النقطه A الى النقطه B على المحصات | يحدث معبرا اقل في تيار المجمع ، وبالتالي يقل سبه كسب التيار للقاعدة المشتركة قليلا عن الواحد . ويقع سبه كسب التيار المدروسة في المدى من 0.98 الى 0.999 .

وبالمسبه لتعريفات متعددة ، يسمون سيات المكبرات ذات الباعث المشترك عن مقبلاتها في المكبرات ذات القاعدة - مشتركة . ومع ذلك ، تتحدد دوائر القاعدة - مشتركة عمدا من السيات التي يصفها في مرسه اكر ملائمة في التطبيقات الخاصة والتي منها المكبرات عاليه التردد .

٩ - ٦ توصيلة المجمع - المشترك

يكرر استخدام وحدات الترانزستور في صورة المجمع - المشترك كمراحل المتتاليه بين الدوائر التي يوحد بينها اختلاف كبير في قيم المعاونه . وسوف نبدأ من التعريفات في الفصل الثالث عشر حيث نعرض هذه الصور بالتفصيل .

٩ - ٧ أقصى قدرة مبددة ومنحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة .

القدرة الكلية المبددة P_m للترانزستور هي حاصل جمع القدرة المبددة في كل من المجمع والقاعدة ، وبالرجوع الى دائرة اختبار الباعث ،

المشترك في شكل ٩ - ٤ . يصبح ابعاد الكتل المدة في الترانزستور هي

$$P_{tot} = I_C V_{CE} + I_B V_{BE}$$

وفي العادة ، تريد قيمة $I_C V_{CE}$ كثيرا من قيمة $V_{BE} I_B$ وغالبا ما
يعترض ان قيمة P_{tot} هي $I_C V_{CE}$. وقد رسم المخطط الذي يماثل
 $I_C V_{CE} = 350 \text{ mW}$ على المحاور الممثلة للمعلمات المشتركة في شكل ٩ - ٥
ب . [ويصبح من الرسم ان المخطط يمر خلال النقطة $V_{CE} = 10 \text{ V}$ و $I_C = 35 \text{ mA}$
والنقطة $V_{CE} = 20 \text{ V}$ و $I_C = 17.5 \text{ mA}$. . . الخ .

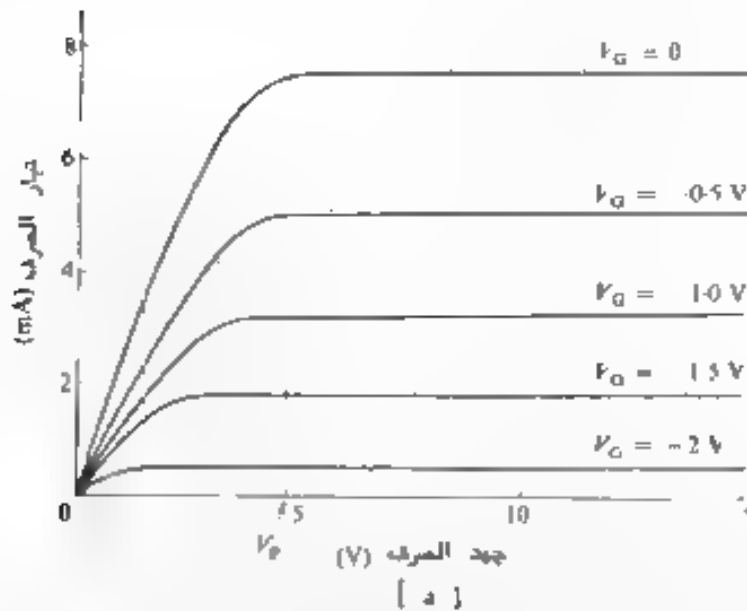
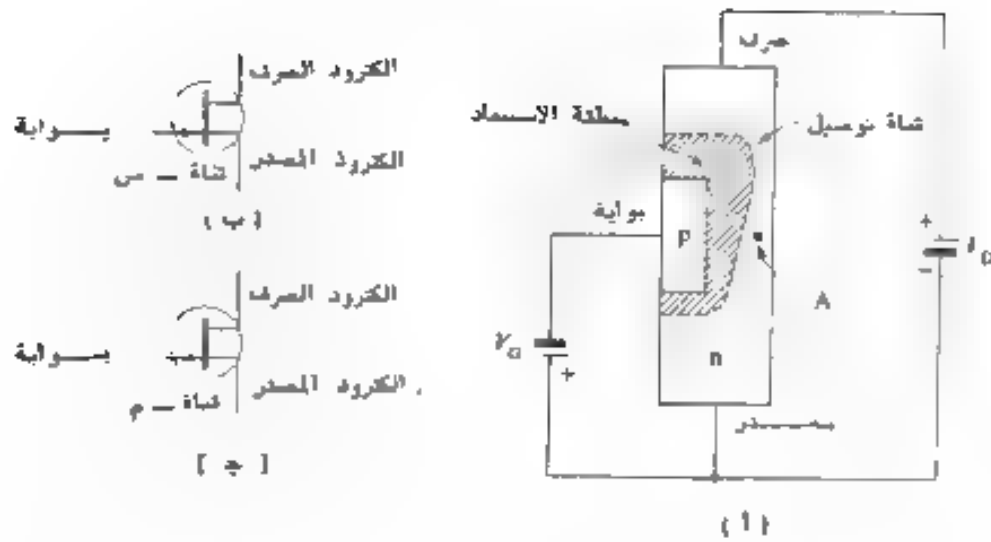
وعند درجات الحرارة المتزايدة يجب ان تنقص القدرة المدة في
الترانزستور وتعطى المصانع منحنيات العلامة بين الفترة الكتل المدة ودرجة
الحرارة المحيطة بوحدات الترانزستور واسى شبه صحة عليه المنحنيات
الحاصلة بالوصلات الثنائية | انظر شكل ٨ - ١٢ .

٩ - ٨ ترانزستورات التأثير المجالي

يمكن اعتبار وحدات ترانزستور التأثير المجالي (FETs) ، في معظم
الاحوال ، وكلها بسط جهدية التشغيل ، حيث ان قيمة المعاوقة الداخلة ،
كما في ترميز المصدر المشترك ، انظر شكل ٩ - ٨ ، وعند ترددات التشغيل
المعتادة ، تكون كبيرة بالدرجة التي لا تستجيب معها . من الناحية العملية ،
اي تيار من مصدر الإشارة - ويمكن تقسيم وحدات ترانزستور تأثير المجالي
مجموعة اعمالية ، التي طمعت في ترانزستورات الدسر المجالي ثواب
البوابه الموصلة (JUGFETs) ترانزستور التاثير المجالي ثواب
البوابه الموصلة (IGFETs) او ترانزستور الدسر المجالي من اشياء
الموصلات الاكسي معدنة (MOSFET)

٩ - ٩ ترانزستورات التأثير المجالي ثواب البوابه الموصلة

يمكن شرح مكره عمل ترانزستور التأثير المجالي ذي لبوابه الموصلة
بالرجوع الى شكل ٩ - ٨ ، ان نحوى البسيطة قصيا او قناه ذات مقطع
مائل على شكل حرف ب . من المادة نوع - س مع منطقة البوابه من المادة
نوع - م التي استشرت بها . وبالمثل ، معرف نوع ترانزستور التأثير
المجال الموسع في الشكل ترانزستور التاثير المجالي ذي البوابه الموصلة
قناة - س ويكون الوصلة - س من البوابه - الى القناة ، في احوال
التشغيل المعتادة . عكسه الانحياز - ومنذ منطقة الاستنفاد الموصلة في
شكل ٩ - ٨ [١] داخل قناة التوصيل ذات النوع - س . ويحدث انصباب
التيار بين الكروبي المصدر والصرف عند نهاية القناة .



شكل ٩ - ١ : شطع خلال ترانزستور التأثير المحلي ذي البوابة الموصلة بمقناة - س
 يمر كل من أ ب قناة - س و ج قناة - م ، [د] مجموعة الخصائص المميزة
 الخارج لمقناة - س

وحيث أن ترانزستور التأثير المحلي في شكل ٩ - ١ [أ] هو نميطة
 مقناة - س فإن أسباب التيار يكون سبحة لتحرك الإلكترونات بين المصدر
 والمصرف وبالتالي يوصل الكروود المصدر بالقطب السالب للبطارية .

يوضح شكل ٩ - ١ [ب] الرمز الاصطلاحي لدائرة ترانزستور التأثير
 المحلي ذي البوابة الموصلة بمقناة - س ، ويس الخط الذي يصل بين المصدر
 والمصرف وخطوط قناة توصيل طسعة بينهما عندما تكون قيمة جهد البوابة
 مساوية للصفر ويوضح اتجاه السهم عند توصيلة البوابة إلى وصلة البوابة

أى - القناة يساهم في ضغطها وحمله الدايود م - س الساتيه ، حيث يكون اتجاه السهم من المادة نوع - م الى المادة نوع - سى ، كما هو الحال احب لوصلة الدايود م - س لساتيه .

أما في اسلطة ذات القناة - م - انظر الزمر في شكل ٩ - ٨ [ج] ، مثل قناة التوصيل تتكون من مادة نوع - م - ويتم استقشار منطقه النوايه من نوع - س داخل المعدن . ومن حالة اليليط نوات القناة - م ، تكون مضطه الحرف ساليه ، ويكون قطبية جهد النوايه موجبة ، وذلك بالنسبه الى الكترود المصدر .

تظهر اساق - سى من برانرسبور التأثير المحالى دى النوايه الموصله اذاعامل من تنطه القناة - م عند الترددات العاليه ويكثر استعمالها .

ان اكثر دوائر برانرسورات التأثير المحالى شيوعا هي التى فى صور **المصدر المشترك** . شكل ٩ - ٨ . حيث يودر الكترود المصدر بالحط المشترك الواصل بين مصدرى الدخل والخرج ، ويوضح شكل ٩ - ٨ [د] بحيث حواص خرج المصدر - المشترك وتتواحد قناة توصيل بين المصدر والحرف عمده يكون جهد النوايه لبرانرسور اسير المحالى دى النوايه الموصله بالقناة - م مساويا للصفر (انظر شكل ٩ - ٨ [د]) . وعند قيم جهد امل من V_p **جهد نهاية التعبير** يرداد سى الحرف بالنظام معقول م - زيادة جهد الحرف ، ومن هذه المنطقه في التحيات المعيرة - بصرف برانرسور السير المحالى كما لو كان معاومه حمه ، وفى بعض الدوائر ، مستخدم وحدات برانرسور التأثير المحالى فى هذه المنطقه من الخصيات وتوصف على انها **معلومات تأثير التعبير** .

ويصبح مسار الحرف ثانيا على وجه التقريب غير معتمد فى قيمه على جهد املع وذلك بعد قيمة معينة لجهد المعرف V_p ، وبمعد السبب على سحر شكل لخصه الميرد لا سى ، فمع جهد للنوايه مساوى للصفر . واذا كانت قيمه جهد السيه A من القناة (انظر شكل ٩ - ٨ [د]) $+4V$ بالنسبه للمصدر ، على الوصله م - س بين النوايه والقناة تصنع عكسية الاحياز معيه تدرها $4V$ وتتواحد منطقه استبعاد عند الوصلة ، فاستقرار زيادة جهد الحرف يؤدى الى زيادة جهد امقطه A ، وممها - يرداد على منطقه الاستبعاد ويؤدى ذلك ، بدوره ، الى انقاص عرض قناة التوصيل

ومى النهاية - م الوصول الى النقطه اى تكون عندها منطقه الاستبعاد متاد بعدد غير عرض القناة الكلى لصغر من مسار التيار الى عشاء ١ ميلم ١ رمو . ويحدث هذا عند مساوى قيمه جهد الحرف مع جهد نهاية التعبير

V_p . ولـ يستطيع يدار الصرف، ان يستمر من الريادة معد الوصول لهذه القيمة من جهد الصرف .

بإذا ما تم تسليط الجهد V_0 ، على النواة بحيث تكون الوصلة من النواة — الى — المصدر عكسية الانحياز ، أى ، تسليط جهد سالب لعناء — من لترانزستور التأثير المحالى ، فان بدايه جهد بهله التعبير نحدث عند قببه اصغر لتيار الصرف . فإذا كانت قيمة V_0 كبيرة بدرجة كافية ، فمن الممكن ان يسبب قطعا تام لتيار الصرف . ولهذا ، يصنع من الممكن استخدام ترانزستور التأثير المحالى ذى النواة الموصلة كمفتاح الكترونى .

ويصرف ترانزستور التأثير المحالى ذو النواة الموصلة سلكى الذكر على انه سطة استبعاد . حيث ان ريده جهد النواة تقلل او تفسد قيمة تيار الصرف .

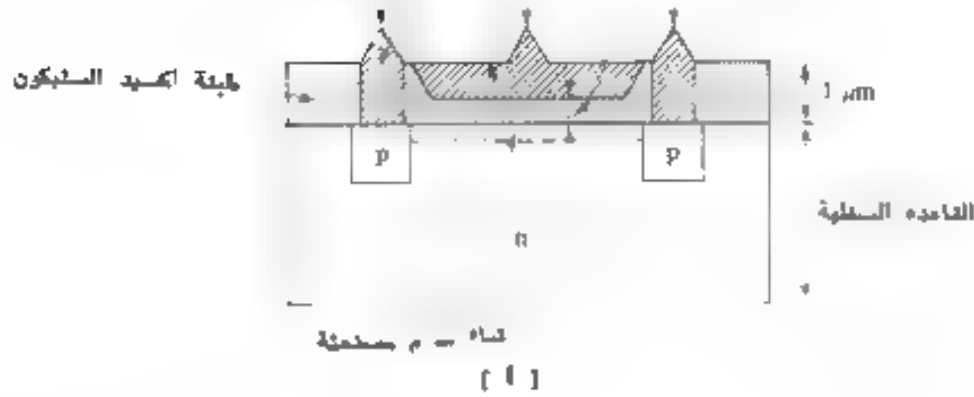
تدور دائرة الدخل بين النواة والمصدر لترانزستور التأثير المحالى وكانها دايود عكسي الانحياز ، وذلك عند ترددات الاشارة المنخفضة . ومعنى آخر ، فانها تدور كمقاومة ذات قيمة عالية جدا ، وذلك بالنسبة الى الدائرة الخارجية تقع عادة بين $10^9 \Omega$ الى $10^{11} \Omega$. ويعتبر اداء وحدات ترانزستور التأثير المحالى ذات النواة الموصلة ، عند الترددات العالية ، اقل حسودة ، بصفة عامة ، عن وصلات الترانزستور ثنائية القطب . ويرجع هذا ، اساسا الى التأثير السعوى المقترن بالانحياز العكسي من النواة — الى الوصلة لدايود الدخل . لذا ، يكثر استخدام وحدات الترانزستور ثنائية القطب من دوائر الترددات العالية جدا . وبطرا للقيمة العالية هذا لمقاومة دخل وحدات ترانزستور التأثير المحالى بوات النواة الموصلة ، عند الترددات المنخفضة ، فقد حل محل وصلات الترانزستور ثنائية القطب ، بالنسبة للدوائر التى تصبح اقمنة العالية لمقاومة الدخل امرا حيويا ، كما فى حالة الاحرة الالكترونية على سبيل المثال .

ونستخدم ايضا ترانزستورات التأثير المحالى ذوات النواة الموصلة فى صورة نواة مشتركة ومى صورة مصرف — مشتركة ، علما بان الصورة الاخيرة سوف تناقش فى الفصل الثالث عشر .

٩ - ١٠ ترانزستورات التأثير المحالى ذوات البوابة المعزولة

يحفظ تركيب ترانزستورات التأثير المحالى ذوات البوابة المعزولة عن تركيبية وحدات ترانزستور التأثير المحالى ذوات الموصلة من حيث ان منطقة النواة تكون معزولة كهربائيا عن قناة التوصيل . يوضح شكل ٩ - ١ [١] مقطعا لى قناة — م لترانزستور التأثير المحالى ذى البوابة المعزولة . وسوف يلاحظ القارىء

مستوى $0.15 \mu m$ الموصلات من الألومنيوم
مصرفاً إلى بوابة / مصدر

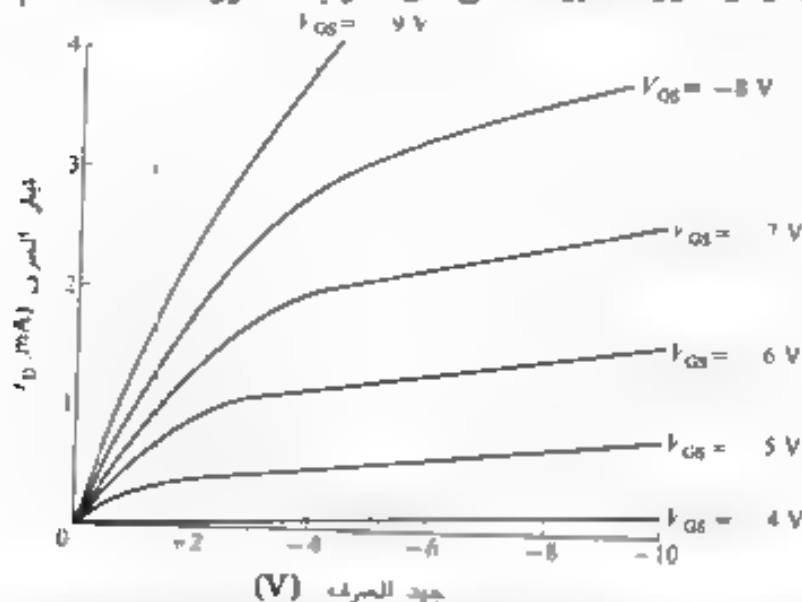


شكل ٩ - ٩ [١] مقطع من تركيبة قناة - م ثنائية الموصلات الأكس معدنية - ومن [ب] توافيق التيار المحلي من أشباه الموصلات الأكس معدنية لو قناة - م [ج] توافيق التيار المحلي من أشباه الموصلات الأكس معدنية لو قناة - م .

إن الكترود البوابة - والذي سجد شكل طبقة من الألومنيوم - يحل محل عن قناة التوصيل في المادة بواسطة طبقة رقيقة جداً من أكسيد السليكون ، «الرحاح» ومكون كل من الكترودى المصرف والمصدر على شكل دلوين من المادة نوع - م المنتشرة في القاعدة السفلية من نوع - م .

وبعزل المصدر عن المصرف عندما نساوي قيمة جهد البوابة - إلى - المصدر الصفر ، بحيث يصبح انسياب التيار بينها مستحيلاً . فإذا ما تم تسليط جهد سالب على الكترود البوابة ، تنجذب حاملات الشحنة ذات الأقلية نوع - م من القاعدة السفلية نحو الجانب السفلى من الطبقة الأكسيديّة والتي تقع تحت الكترود البوابة مباشرة . وعند قيمة معينة لجهد البوابة يعرف باسم **جهد العتبة** V_T ، يكون عدداً كافياً من حاملات الشحنة نوع - م قد تراكم أسفل الكترود البوابة ليكون قناة توصيل بين المصدر والمصرف وقد وصحت كقناة مستحثة من نوع - م في شكل ٩ - ٩ [١] . وتقع قيمة الجهد V_T بين $2V - 5V$. فإذا رأيت القيمة السالبة لجهد البوابة

عن V_T ، ترددات تيار الصرف ويوضح شكل ٩ - ١٠ مجموعة تقريبية لخواص ترانزستور التأثير المحلي ذي البوابة المعزولة بالقناة - م .



شكل ٩ - ١٠ المنحنيات التجريبية لفروق دائرة مصدر مشترك في ترانزستور التأثير المحلي - من اتجاه الموصلات الاكسي معدنية ذي القناة - م على الترتيب التتابعي .

ونعرف مثل هذه التهيئة على انها ترانزستور التأثير المحلي ذات النمق التدميمي ، حيث تؤدي زيادة جهد البوابة الى زيادة او تدعيم لتيار الصرف .

وسلاحظ القاري ، انه بالمطر الى ان قناة - م قد اسبخت في السطحة تحت الاعشار ، على المستويات تستخدم كمعاملات للشحن بين المصدر والصرف . وبالتالي ، يوصل الكتروليد المصدر بالقطب الموجب للمصدر وتوصل الحرف بالقطب السالب .

ونصنع حالياً ترانزستورات التأثير المحلي ذات البوابة المعزولة بالقناة - م ، الا ان تكنولوجيا تصنيع نطاق القناة - م تعتبر اكثر تقدماً وكثيعة لذلك ، يشيع استعمال النوع الاخير بدرجة اوسع . هذا ويعتبر الالكترونيات الرقبيه محالاً اساسياً لاستخدام وحدات ترانزستور التأثير المحلي ذات البوابة المعزولة .

سلاحظ القاري ، ايضاً من شكل ٩ - ١٠ ، ان الحرف بين البوابة والقناة يتكون من تركيبة معدن - اكسيد - شبه موصل . ومن هذا تعرف وحدات ترانزستور التأثير المحلي ذات البوابة المعزولة ايضاً باسم وحدات ترانزستور التأثير المحلي من اشباه الموصلات الاكسي معدنية .

وحيث ان طبقة الاكسيد فوق بوابة ترانزستورات التأثير المحلي من اشباه الموصلات الاكسي معدنية تكون رقيقة جداً ، لذلك فمن الممكن ان يتلف

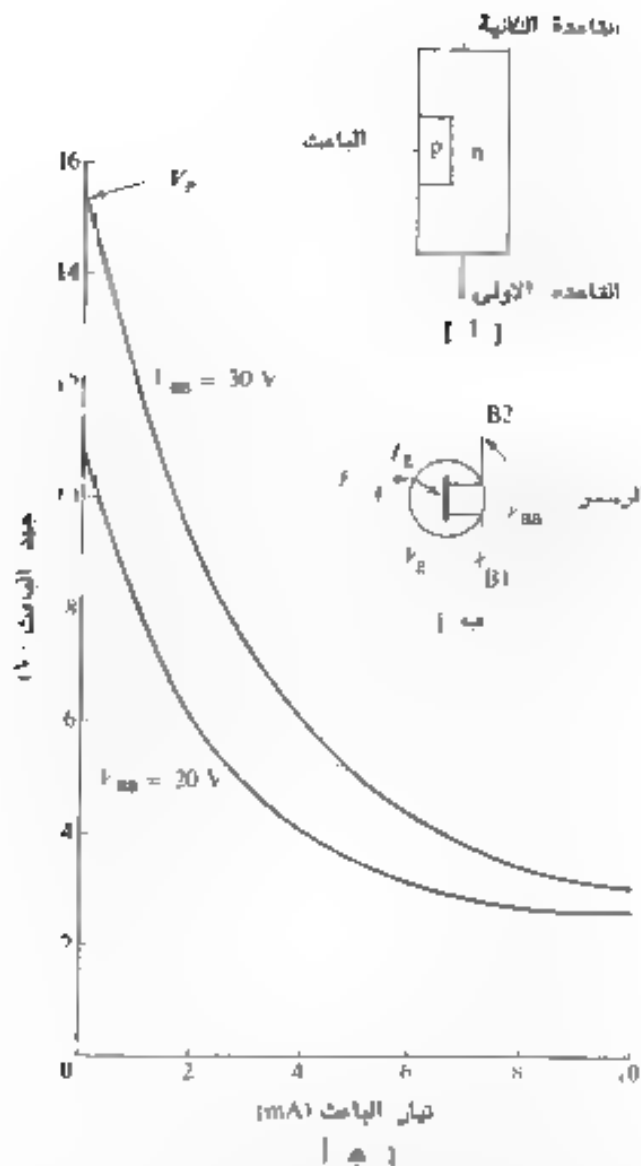
نهائيا عند تسليط جهد منخفض نسبيا عليه . وتقع القيمة المعتادة لجهد الانهيار في المدى ما بين 30V الى 100V هذا ومن الممكن تسليط مثل هذا التوتر من الجهد بمساحة من ابعاد الشحني للسطح ، وليس أمرا غير مألوف أن يبرأكم موق الأسفل جهود استاتيكية يزيد عن 20 000 V . إذ يمكن توليد جهود استاتيكية بالاحتكاك بين الجلد والأشياء الأخرى مثل الملابس والمواد ومبصده العزل ، الخ . مخزن معزول المشي يولد شحنة استاتيكية . وعلاوة على ذلك ، يحزن الشحنة في جسم الأسفل ، لأن الجسم يكون معزولا عن الأرض بالحداء وعطاء الأرض . وكقاعده عليه شحن جميع بيلتظ اثناء الموصلات — الأكس معبئه من المصبع بعد بعبئه أطرافها ببطاط مومل بماده بلاستيك بحيث يكون جميع أطراف الإلكترونيات عند نفس الجهد تقريبا . ولا يسمى برع هذه الماده حتى يتم تركيب البيلتظ في الدائرة وفي بعض الدوائر المنطقية . توصل النواة عن طريق وحدات الدايتود عكسيه الانحياز بطبيعتها ، التي كل من الأرض وخط التغذية . ماذا حدث وأن وصلب النواة عن غير قصد الى مصدر جهد استاتيكي . يصبح واحدا أو أكثر من وحدات الدايتود امان الانحياز من الانحاء الأمامي مما يؤدي الى تفريغ مصدر الطاقة الاستاتيكية .

٩ - ١١ ترانزستور احادي التوصيل

لا يعتبر الترانزستور احادي التوصيل . بعبه قاطعة . كترانزستور ولكنه دايتود مزدوج القاعدة . ويمكن شرح فكرة عمل النقطه بالرجوع الى شكل ٩ - ١١ ويوضح الرسم ١١ من هذا الشكل احدي صورتين تركيبه الترانزستور إذ يتكون من قضيب من ماده اثناء الموصلات نوع — سي — مع وصلة — سي في اثناء مركز القضيب وتعرف المنطقة — باعث الترانزستور احادي التوصيل . وتعرف التوصيلتين الى يهلي القضيب بالقاعدة الاولى (B1) والقاعدة الثانيه (B2) ، على التوالي وفي حالة عدم وجود اشارة عند الباعث ، تقع قيمة المقاومة فيما بين القاعدتين R_{BB} بين B1 و B2 في المدى من 4 kΩ الى 12 kΩ . وتعرف الجهد بين B1 و B2 بالجهد فيما بين القاعدتين V_{BB} وتقع قيمة الجهد المقاس بين B1 ونقطه دخول الباعث في القضيب بين 0.4V_{BB} و 0.8V_{BB} ويعرف معامل V_{BB} المعطى عاليه بالنسبة الذاتية المعادة ورمزها η .

وعندما تقل قيمة جهد الباعث V_E عن ηV_{BB} ، تكون الوصلة م — سي بين الباعث والقضيب عكسيه الانحياز . ولا يمر في الباعث سوى جبار تسرب ضئيل جدا . وعند زيادة جهد الباعث الى النقطة التي تصبح عندها الوصلة م — سي امامية الانحياز ، تقل المقاومة بين الباعث و B1 الى قيمه منخفضه . ويعرف هذا الجهد في هذه الحالة بجهد التقله الدروية V_P ، والذي يوضحه شكل ٩ - ١١ | د | على منحنى الخواص . وبين الشكل أيضا الخواص عند قيمتين للجهد V_{BB} وفي كل حالة .

$$V_P \approx \eta V_{BB}$$

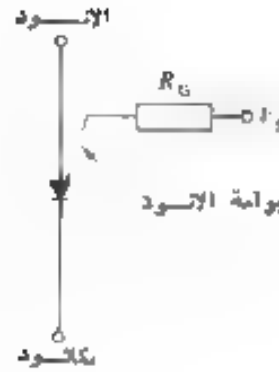


شكل ٩ - ١١ الترانزستور أحادي التوصيل [١] ، إحدى صور التركيب ، ١ - ١ : رمز الدائرة و [٢] منحنيات الخواص الأساسية

يستخدم الترانزستور أحادي التوصيل بشكل كبير في دوائر ومي الدوائر المتكاملة وفي مولدات السمات . انظر أيضا الفصل الثالث عشر [١] .

٩ - ١٢ الترانزستور أحادي التوصيل القابل للبرمجة (PUT)

في الحقيقة ، ليس الترانزستور أحادي التوصيل القابل للبرمجة ، بسيطة أخرى من النوع الموضح أعلاه في الفصل ٩ - ١١ ، ولكنه ترانزستور منخفض القدرة يستخدم للأغراض العامة [١] انظر أيضا الفصل الخامس عشر [٢] ، وتشبه خواص هذه البنية بعضة احتماليه الخواص الموصحة في شكل ٩ - ١١ . وعند مقارنته بالترانزستور أحادي التوصيل التقليدي فإنه يعطى عدة مميزات تشمل إمكانية تغير قيمة β [١] أي قابلية للبرمجة [٢] ، وتيار تسرب منخفض القيمة وجهد انهيار مرتفع القيمة .



شكل ٩ - ١٢ رمز دائرة الثنائيستور احادي التوصيل قليل المرحلة .

يوضح شكل ٩ - ١٢ الرمز المستخدم لدائرة الثنائيستور احادي التوصيل القابل للمرحلة . ويشترك مع انواع سائط الثنائيستور في انه بسيطة من لشياء الموصلات ومن اربع طبقات نوع م - س - م - س . وان التيار في حالة مروره يسلب من الأنود الى الكاثود وبحكم أو سرجج بمقدار الجهد الأنود الذي يبدأ التوصيل عنده بواسطة الجهد V_G المسط على بوابة الأنود . وبهذه الكيفية ، يمارس التحكم من خلال القيمة المعطاة

٩ - ١٣ نظم ترقيم التبيطة

توجد أنظمة كثيرة لترقيم سائط أشياء الموصلات وسنوضح النظم الاساسية منها فيما يلي :

كان النظام الاوروبي القديم مبنياً على الصمام الترميوس وبمصر المجموعة الاولى من الأرقام عن جهد المحس ، وبالنظر لآ اشياء الموصلات لا تحتاج الى تسخين ، مالفية المعطاة لهذه المجموعة بمعنى أن تكون صفراً .

وبوضح نوع السطة بالحروف الانجليزية - «A» للدايود | صمام ثنائي | ، «C» للصمام الثلاثي ... الخ . يوحد اصاح حروف اصافيه مثل «P» للتأثير الضوئي أو لنبائط الاشعاع الحسابه للصوء و «R» للمقاومه الصوتية للمواد شبه الموصلة ... الخ . هذا ويعطى المجموعة الاخيرة من الأرقام رتبة تسجيل البسيطة . وهكذا ، ما 28 OC هي سبطه صماء ثلاثي شبه موصل ، أي ثنائيستور برقم تسجيلي 28 .

أما النظام الاوروبي الحديث أو نظام موالكترون PRO Electron System من النبايط تعرف بحرفين يعقنها اعداد سلسلة وقد تتكون الاعداد المسلسلة من ثلاثة ارقام أو من حرف واحد ورقمين ويفسر الحرفين الاولين كما يلي :

الحرف الاول يشير الى نوع المادة المستخدمة :

- A — حرمانيوم
- B — سيليكون
- C — رينجيد الحالبوم
- D — اسيويد الانديوم
- R — سائط لاسخوى على وصله مثل خلية المقاومة الضوئية .

ويوضح الحرف الثانى التطبيقات العامة للبيانات :

- A — دايود اشارة
- B — دايود متغير السعة
- C — ترانزستور ترددات سمعية منخفض القدرة
- D — ترانزستور قدره للترددات السمعية
- E — وصله ثنائية مفتحة
- F — ترانزستور ترددات اللاسلكى راديو منخفض القدرة
- G — سائط متعددة غير متشابهة
- L — ترانزستور قدرة للترددات اللاسلكية
- N — رابط صوتى
- P — سائط حساسه للاشعاع .
- Q — سيلة توليد الاشعاعات أى دايود الانبعاث الصوتى
- R — سائط تحكم منخفضة القدرة
- S — ترانزستور اتصال — فصل منخفض القدرة
- T — سيلة لا اتصال — فصل منخفض القدرة
- U — ترانزستور قدرة لا اتصال — فصل
- X — دايود مضاعف
- Y — دايود قسرة
- Z — دايود زينار

وتحوى الاعداد المسلسلة ثلاثة ارقام، أى BC147 و BF194 عندما يتعد استخدام السائط للاغراض الاستهلاكية أى الراديو والتليفزيون والمعدات السمعية ... الخ . أما عندما يقصد استخدام السائط فى الصناعة والاعمال المتخصصة وفى معدات الارسال ، فانها تعرف برقم مسلسل يتكون من حرف واحد ورقمين مثل BFX30 و BSS27 .

ويهىء نظام التروالكترى ايضا وسيلة لتعريف المجموعات الفرعية باضائه عدد مسلسل آخر بحيث يفصله عن العدد الرئيسى الاول شرطه . فعلى سبيل المثال ، تعرف السيلة تحت رقم BTY79-600R على انها ثايرستور سيليكونى ، تحت رقم سجيل Y79 ، قيمة اقصى تروء للجهود العكسي المتكرر هى 600V . ويشير الرمز «R» الى التوسيلة العكسية للسيلة أى لن التوء هو انود الثايرستور .

وترقم معظم سائط أشباه الموصلات الأمريكية تبعاً لنظام JEDEC [المجلس المشترك لمهندسي التباط الإلكترونية] . وفي هذا النظام يعطى الرقم الأول عدد الوصلات م -- من من السبطة أي «I» الدايسود . «2» للترانزستور الباعث ثنائي القطب و «3» للثايرستور ولترانزستور الباعث المزدوج ... الخ. ويتبع هذا الرقم الحرف «N» ثم رقم التسجيل . فالنسبة التي أرقامها 2N2027 هي ثايرستور ذو وصليتين ثنائيتين ، وكان قد سجل برقم 2027 .

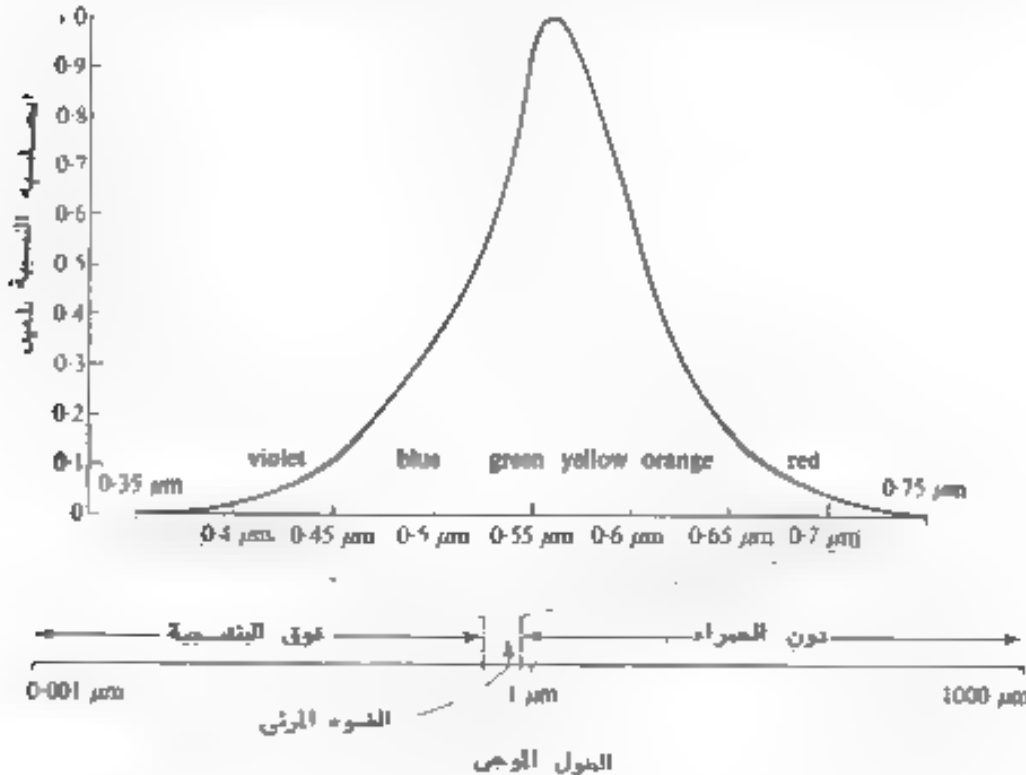
الفصل العاشر

الالكترونيات الضوئية

يطلق اسم الالكترونيات الضوئية على عدد كبير من النماط الحاصلة للضوء [ولاشعاعاى اخرى] ، وسائط الانبعاث الضوئى [اى نقط ممتعة للضوء واشعاعات اخرى قريبة من الاشعاعات المرئية] .

١٠-١ الطيف الكهرومغناطيسى المرئى

تشارك كل من الاشعة الضوئية واشعة الراديو والتليفزيون واشعة اكس والاشعة الكونية من انها جميعا اشعاعات كهرومغناطيسية . ويمتد الطول الموجى للضوء المرئى من حوالى 0.35 μm [بنفسجى] الى حوالى 0.75 μm [احمر] كما فى شكل (١٠ - ١) .



شكل ١٠-١ نطاق موضع العلاقة بين شدة الاشعاع والصفة النسبية لعين الانسان

وتعرف الأطوال الموجية المتضمنة من $m \ 0.35$ بالأشعاعات فوق البنفسجية وتعرف الموجات الأطول من $m \ 0.75$ بالأشعاعات دون الحمراء .

المس . كما هو الحال مع الكواشف الأخرى للأشعاعات ، غير متساوية حساسية العين لجميع الترددات ، وهي أكثر حساسية للون الذي يبلغ طوله الموجي حوالي $m \ 0.55$ ويوضح شكل ١٠ - ١ ، المنحنيات التي تبين حساسية العين التقريبية للأشعاعات الواقعة في الطيف المرئي . ويستطيع اللون الذي يراد تحقيقه في بعض اللحظات أن يحدد ما . ولتأخذ في الاعتبار حالة مصباح قسلة المتاحسون الموهجة . حيث يشمل خرج هذا النوع من المصباح كل الأطوال الموجية المرئية ولكن معظم قدره الخرج تقع في المناطق الحمراء أو دون الحمراء والاحمر عبر برئته . ويقوم العين بالنور الذي يؤدي إلى إحراج حل وسط ، لذلك يظهر المصباح للاتصال بلون في منطقة الأصفر - أحمر من الطيف .

وتتبع أكثر استجابه لبعض أنواع كاشفات الأشعاع في المنطقة دون الحمراء وتستخدم حيث تكون هذه الخاصية ذات فائدة . وعلى سبيل المثال في نظم كشف أحمال شملة العلانية وفي نظم الإنذار ضد السرقات وفي الطيران وفي نظم السواريج الموجهة .

إن السرعة التي تنحرك بها الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ هي $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ أو 1800 miles/s وتعتبر حداً من $m \ \mu s \ 1$ أو $ft \ \mu s \ 1$ ويمكن الحصول على تردد الأشعاع بالهرتز من المعادلة

$$\text{التردد } f = \frac{3 \times 10^8}{\text{الطول الموجي بالمتر}} \text{ هرتز}$$

وكمثال ، التردد لطول موجي قدره $0.75 \mu m$ هو

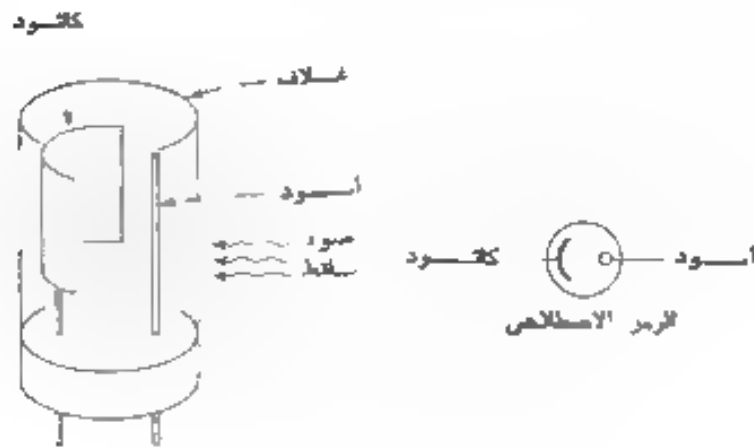
$$f = \frac{3 \times 10^8}{0.75 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

١٠ - ٢ خلايا الانبعاث الصوتي (الخلايا الصوتية)

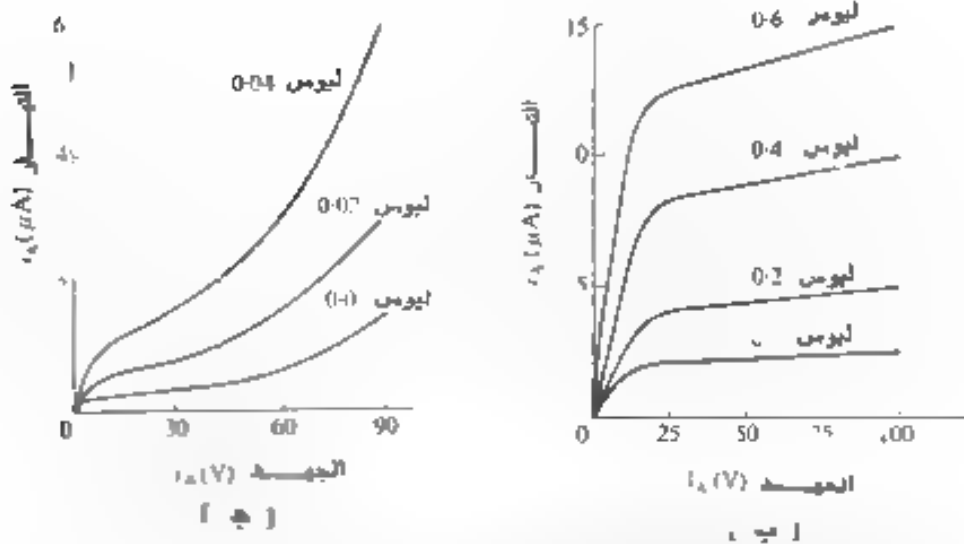
للحلية الباعثة للكثرونات محب تأثير الصوت أو للصمام الصوتي ، كاثود سمك الإلكترونات بطلائحة ، عند تعرضه لأشعاع بالتردد الصحيح ويوضح شكل ١٠ - ٢ ، التركيب واحدة من هذه الخلايا الصوتية . والكاثود مساحة كبيرة لكي يستقبل الإشعاع الملقطة ، لها الأنود فهو بمساحة عباره عن قضيب . يتوقف التردد الذي يصح عنده استجابة السطحة أكبر ما يمكن على المادة المصنوع منها الكاثود . فبعض المواد استجابة طعمه قربه من استجابة عن الإنسان سيما للنغمات الأخرى فائدة أكثر في المنطقة دون الحمراء .

ويتم تشغيل الخلية بجهد موجب للأنود كما هو موضح في شكل ١ - ٢ .
وتتجمع الإلكترونات المنبعثة من الكاثود المعرض للضوء بواسطة الأنود .
ويؤدي أي تغير في شدة الإضاءة إلى تغير التيار المصاحب خلال الخلية .
ويؤدي هذا بدوره إلى تغير الجهد بين طرفي المقاومة R ، ويكبر هذا الجهد
بدائرة الكترونية مناسبة ليعطي إشارة مرتبطة بشدة الإضاءة .

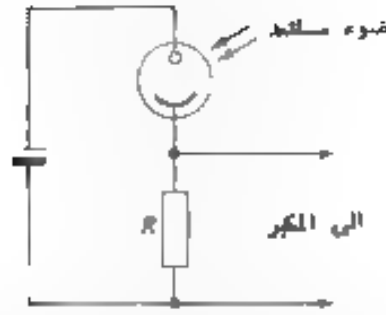
ويوضع الكاثود والأنود داخل غلاف من الزجاج أو الكوارتز ، قد يكون
مفرغاً أو ممتلئاً بالغاز .



[٢]



شكل ١ - ٢ (أ) إحدى صور الخلايا الضوئية ، (الخطية المبززة في ب) ، للصلابات المتفرقة
وفي [ج] للصلابات المتفرقة بالخط .



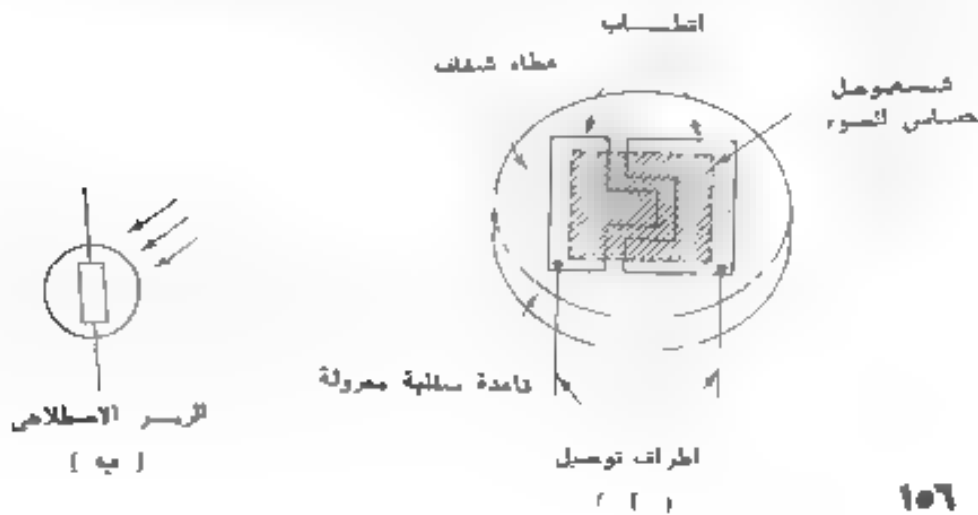
شكل ١ - ٢ دائرة تستخدم خلية صوتية .

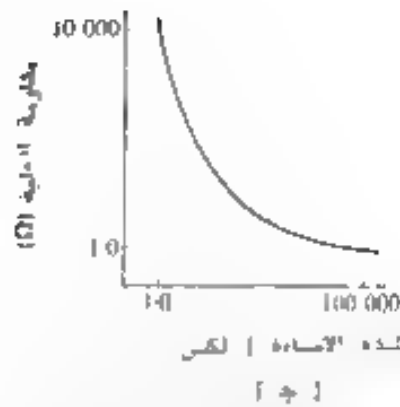
تكبر حساسية الخلايا العازية ، بالنسبة للاشعة الصوتية ، حساسية الخلايا المفرعة بحوالي سبع الى تسع مرات ، وبدا الحساسية السمية للخلايا العازية في الانحماص بمعدل سريع عند تغير اعلى من حوالي 2 KHz لتردد الصوت . ويوضح شكلا ١٠ - ٢ ا ب و د ، الخواص الانشائية لخليتين صوتيتين متماثلتين ، احدهما غزيرة والآخرى مفرغة . وعند هذا الحد . يجب الا يغفل ذكر شيء عن وحدات الاصاء فالمقياس الصوتي هو كمية الطاقة الكلية للاشعة الصوتية المرئية المنبعثة من مصدر صوتي في وحدة الزمن ، واللبوم هو وحده قياس القياس على احد المحاور . انظر شكل ١٠ - ٢ [د] ، علما بان وحدة الاصاء هي لكس وهي تساوي لبومين للمتر المربع .

وتستخدم الخلايا الصوتية منذ بداية اكتشاف الالكترونات على نطاق واسع في أنظمة صناعية متعددة وقياسات [أجهزة قياس] . ومع ذلك فقد حل محل هذه الخلايا في محالات كثيرة سائط اخرى ستوضح فيما يلي :

١٠ - ٢ خلايا التوصيل الصوتي

كما استعرض في الجزء الاول من الكتاب ، عندما تيمض مادة شبه موصلة داخيا كمية من الطاقة ، فان ارواحا من الالكترونات والفحوات تتولد داخلها بسعة تلقائية . فلذا ريدت كمية الطاقة المتصلة مثل عدد ارواح الالكترونات والفحوات الحرة تزداد . ويكون التأثير النهائي على المادة هو





شكل ١-٤. أ. تركيب حلي توصيل صوتي، ب. رسم الطيف، ج. بعض القواسم البيولوجية لحلية توصيل صوتي

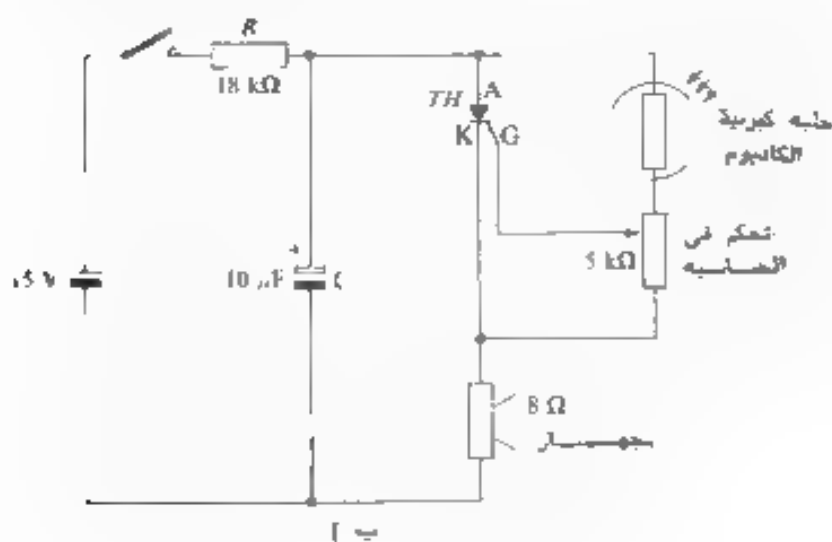
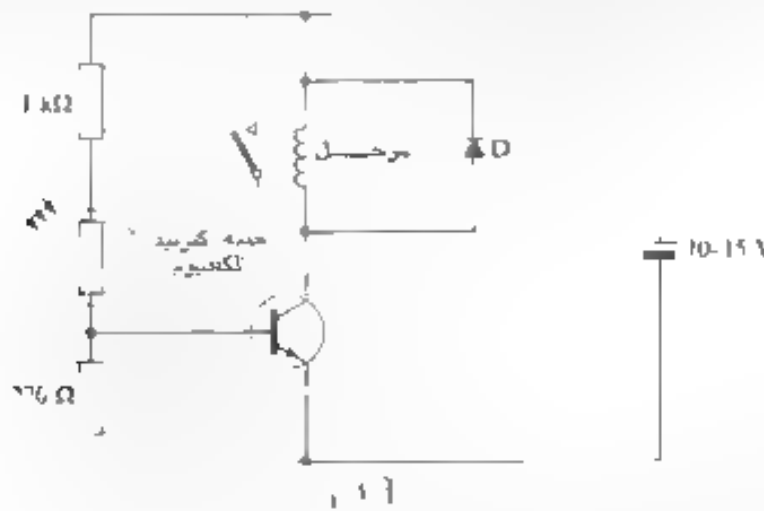
ربادة موصليتها أو نقص في مقاومتها الكهربائية . ومصدر الطاقة في خلايا التوصيل الصوتي هو الضوء والاشعاعات القريبة من المرئية .

يستعمل المبدأ الشعبة موصلة كبريتيد الكاديوم (CdS) على نطاق واسع في خلايا التوصيل الصوتي ولها استجابة طيفية بواشء ملتقريب عين الإنسان ويستخدم خلايا كبريتيد الكاديوم في المطبوعات التي يمكن الإسكس من حشوف مسبوغات الأصاءة وعلى سبيل المثال في دوائر المحكم الصوتية ونواثر كشف الدخس ... الخ . ولواذ شمة موصلة أخرى مثل كبريتيد الزرلس واسموبند الانديوم حساسية أكثر للاشعاعات المحبوبة على سببه عاليه من الأشعة دون الحمراء .

ويوضح شكل ١-٥ أ. تركيب شكل واحد من خلايا كبريتيد الكاديوم ويقع قطر الحلية علاء في المدى من 1 cm إلى 0.4 in 2.5 cm إلى 1 in) والجزء المعدل من الحلية هو عبارة عن عشاء ا ملاء من مادة شمة موصلة موضوعة فوق قطبين شمة كل منهما شكل المسرحة وحشوفها مداخل علام شغلف . ويوضح الشكل ١-٥ أ. ج. بعض حواس هذه الحلية ، ويسبر مقاومة الحلية من قيمة تزيد عن 100 kΩ في الظلام إلى حوالي 1 Ω عند الأصاءة الكاملة .

و يوضح شكل ١-٥ ب. دايربين يستخدم فيهما كبريتيد الكاديوم مثل ORP12 معى الشكل ١-٥ أ. تستخدم الحلية في دائرة انحصار مكر الترحيل الربلاي ا ويكون مقاومة الحلية عاليه عندما يكون غير مضاء . في هذه الحالة . يكون فيه تيار القاعدة من الناحية الواقعية مساوية للصفر ويكون المرحل في حالة عدم تشغيل . وعند أصاءة الحلية تنخفض مقاومتها إلى سة صغيرة . وهذا يسمح لكل من تيار القاعدة والمجمع بالارتداد حتى يعدى المرحل بالطاقة ويطلق الدائره عندما يلامس اطرافه . ومهمه عمل الدايود D المبرخ نواريا مع ملف المرحل هو وقته الترانزيسور من ربادء عبارة للحدود عند انخفاض تيار الملف بطريقة مباحبه ينتجه لانخفاض مباحه في مستوى الأصاءة .

وسنستخدم إشارة الخطر - الصوتية الميعة في شكل ١ - ٥ [ب] ،
 بسيطة لم نعرض لها حتى الآن . وهذه البسطة هي التيرستور والميعة بالترمز
 TH في الدائرة . وسنغطي هنا سائنا مختصرا عن عمل البسطة . وسنعرض
 لها بموصل أكثر من الفصل الخامس عشر . التيرستور هو بسطة موصل
 وموصل [ممحاج] شبه موصل تنحصر فيه مقاومتها بين الأتود والكاتود .
 | موصحه بالترمز A و K في الشكل عند مصلط بيار على ابوانه | كما
 هو موصح بالترمز G في الشكل . ويمكن لهذه البسطة أن تعمل بحرد
 لفصل بيار الأتود إلى شبه منحصره حذا أقل من حوالي 12 mA .
 وميعة التيرستور في اندائرة البسه شكل ١ - ٥ ، ب . هي مفرع
 المكثف بصفه دوريه ويعمل الدائرة بالطريقة التالية . تكون مقاومة حليه
 كبريد الكاديوم عاليه عند عدم اصاعها ويكون الحيد المسلط على سوانه
 التيرستور من الباحه الواقعه عديم القيه . وبسجه لذلك لا يطلق
 التيرستور إلى الموصل في حاله الطلام وبشخص المكثف إلى القيه المهيته



شكل ١ - ٥ تطبيقات خلافا التوصيل الصوتي : ١ : دائرة مكر لرحل و ٢ : جهاز انداز صوتي .

تجهذ المصدر . وعند سقوط الضوء على حليه كبريتيد الكاديوم ، منحصر المقاومة ويسبب التيار من يوانه انمايرسمور . عند حدوث ذلك يبدأ الثايرسمور من التوصليل ويسبب تفرغ المكثف معدل مربع خلال الجهار مما يؤدي الى احداث طعنه . ويحدث ان ينتهي المكثف من التفرغ . معنى قيمة التيار المار من الثايرسمور انى مستوى أقل من القيمة القائمة عندها يتوقف عن التوصليل . بعد ذلك . يبدأ المكثف فى الشحن من جديد خلال المقاومة R . عندها يسيل الجهد بين طرفى المكثف الى قيمة كبيره تدريجه كانه . من التيار المساب خلال حليه كبريتيد الكاديوم الثايرسمور للتوصليل من جديد ويفرغ المكثف مره اخرى . ويحدث طعنه اخرى فى الجهار وهكذا تصل الاضاء الى مستوى معين تعطى الجهار سلسله من الطقطقت ومن الممكن ان يصير معدل تفرار الطقطقه صغير منه المقاومة R او المكثف C كما يمكن ضبط حساسه الدايود للاضاء بواسطة مقياس الجهد $5\text{ k}\Omega$. ويحب الاهتمام والتأكد من ان قيمة جهد المصدر لا يزيد عن معدل جهد المكثف.

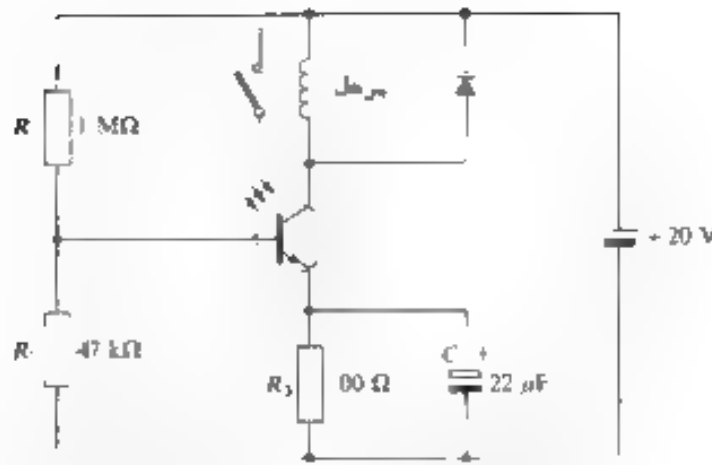
١٠ - ٤ وحدات الدايود الضوئية

الدايود الضوئى هو وصله ثنائيه م - م داخل غلافه قعنه او عدسه لكي تسمح بسقوط الضوء على الوصله م - م . ويتم تشغيل وحدات الدايود هذه تحت حالات الانحياز العكسي . بحيث يمر بمرحرد بيار صغير جدا خلال الدايود عندها ينخفض مستوى الاضاء - وعند زيادة شدة الاضاء يرداد انسياب بيار السرب للدايود . ويستعمل بيار السرب هذا لبيان شدة الاضاء الواقعه على الدايود

ومن الجدير بالذكر . ان وحدات الدايود الضوئيه حمله لكل من الاشعاعات المرئيه والاشعاعات الفريسه من نور الحمراء . وسنحسب هذه السائط للضوء الذى يصير او يعبر شدة عند ترددات عالية جدا

١٠ - ٥ الترانزستور الضوئى

نعرض منطقة القاعدة للترانزستور الضوئى لتلقى النقط للالضاء الساقطة منحرر هذه الطاقه الضوئيه حاملات الشحنة من منطقه القاعدة ، فيرداد بيار القاعدة نتيجة لهذا انشاز . ويرداد بيار مجمع الترانزستور بازدياد شدة الاضاء وتبلغ حساسيه الترانزستور الضوئى المستخدم للاغراض العامه حوالى 500 mA لكل لومين . وبالصافه الى ذلك ، يمكن استخدام التوصليل بمنطقة القاعدة لاجراض الانحياز كما هو موضح فى شكل ١٠ - ٦ .



شكل ١- ٦ دائرة ترانزستور صوتي للتحكم في المرحل ١ التولاي ١

والدائرة الموصحة في الشكل السابق هي من دوائر المرحلات المحرصة صوت والتي تستخدم معرقا ، من هذه الدائرة يستخدم المقاومات R_1 و R_2 و R_3 مع المكثف C لأغراض الانحياز والاستقرار الحراري ، ويوضح في المعادلات عشر لزوم استخدام هذه المكثفات وعندما نحقق مستوى الإضاءة تصبح قيمة التيار خلال ملف المرحل صغير ومطل طرعا المرحل غير متلامسين ، وعند ارتفاع مستوى الإضاءة ، يزداد التيار الترانزستور إلى قيمة تؤدي إلى إغلاق المرحل ، ومن الممكن استخدام ترانزستور BPX25 الذي يحوي على عدسات مركبة داخل الغطاء المحيط لمركز الضوء ومسير BPX29 ترانزستور مكانها كبديل آخر له شيك واضح ويوصل الدايود على التوازي مع ملف المرحل لوقائه الترانزستور من الجهود العالية عندما تتغير قيمة تيار المحرك بمعدل سريع لانخفاض مستوى الإضاءة عنه

ويصنع مادة عزل النواة للترانزستور ذي التأثير المحلي (FET) بالنواة المعزولة بحيث يكون شعاع الضوء ، فإن الطاقة الصوتية من إلى الباعثة السطحية وتؤدي إلى تحديد حاملات الشحنة من الباعثة السطحية ، وهذا يؤثر من إمداد موصلة قبة الموصل التي من المصدر والباعثة مما يؤدي إلى أن يصبح تيار المحرك مرتبطا بشدة الإضاءة ،

١٠ - ٦ وحدات الثايرستور الصوتية

لعلك تذكر أن الثايرستور الذي سبق وتعرضنا له باحتمال في الحر ١ - ٣ ما هو نمطه الكهربية تستخدم للتوصيل الكهربائي عسك سلط تيار دعى إلى قطب مواسنها ، تنطلق وحدات الثايرستور الصوتية للتوصيل عند السماح للضوء الساقط أن يقع على منطقة النواة لهذه السطحة ،

١٠ - ٧ خلايا الجهد الضوئية أو الخلايا الشمسية

- عند معرض دايود صوئي معزول للضوء ، يصهر في د.د.ك بين طرفيه ، أي أن - الدايود مد حول أنطاقة بصوئيه مباشرة الى طاقة كهربائيه . وعند استخدام ادايود الصوئي على هذا البوال فانها معرمة باسم خلية الجهد الضوئيه أو الخليه الشمسية . يمكن توليد جهود بصر الى 0.5 V لكل خلية بهذه الطريقة .

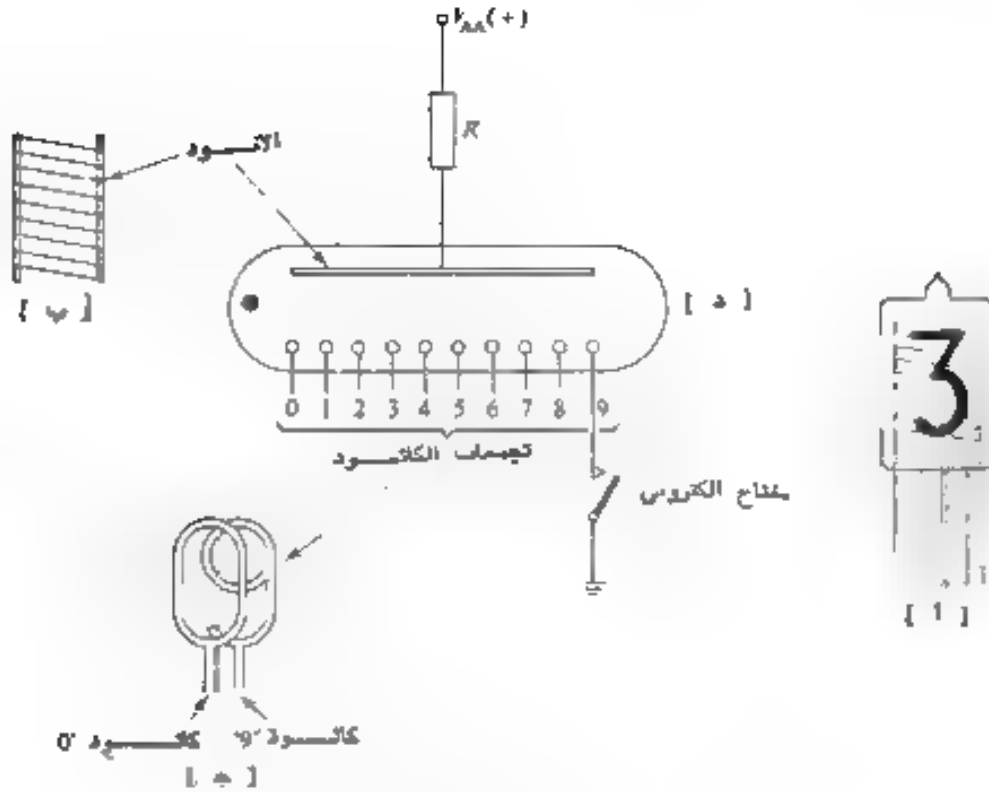
وتشمل تطبيقات خلايا الجهد الضوئيه معانيس مدد المعرض للموعراني للضوء والشريط المخرم وقارنات الطلقات وتطبيقات المضاء .

١٠ - ٨ نبائط الانبعاث الالكتروني بتأثير الضوء

سبق أن ناقشنا في الأجزاء السابقة نطائقا كبيرا من النبائط الحساسه للضوء ونوجه انشاء القاري، إلا أن نبائط الانبعاث بتأثير الضوء التي تحول الطاقه الكهربائيه الى طاقه صوتيه . اد يستحل هذه النبائط انشاء من المنبله ويوزع المعرض ووحدات دايود القنف الصوئي . وسوف معرض ايضا لوصف مميزات النائل البلوري بالرغم من عدم كونها وسائل عرض بتأثير انبعاث الضوء .

١٠ - ٩ أدوات عرض الكاثود البارد (الفلزية)

يمتد صمام الكاثود البارد العازي واحدا من الأنواع الثمانية من صمامات المس الرقعي ويوضح شكل ١٠ - ٧ أ . نوعا من التركيبات البنية . اد يصمم الصمام أنودا على شكل الشبكة السلطكه من النوع المس في شكل ١٠ - ٧ [ب] والذي يوصل الى جهد الموجب للصفر V_s عن طريق المقاومه R انظر شكل ١٠ - ٧ [د] ٢ . ويكاد اسود الشبكة السلطكه أن يكون مرتفع في احوال التشغيل الماديه . وبصطف تحمضات الكاثود على شكله الأرقام 0,1,2, 7,8,9 كل على حده وراء بعضها البعض كما هو موضح بالرسم [د] . ويتم تثبيت الانود وبصمات الكاثود داخل غلاف زجاجي ممتليء بالغاز . مع وضع نقطة عند نهاية الطرف الاسر لمرر دائرة [الرسم د] للإشاره الى حقيقة امتلاء الصمام بالغاز ، ويستعمل غاز النيون حتى يعطى اللون الاحمر - البرتقالي المبرر للكاثود المضاء . هذا وصاء كاثود واحد فقط لكل مرة متوصيله بحط جهد الصفر عن طريق ممناح الكتروني متصل كما في شكل ١٠ - ٧ [د] بالقطب رقم 9 .



شكل ١٠ - ٧ صمام عرض رقمي مملوء بالغاز

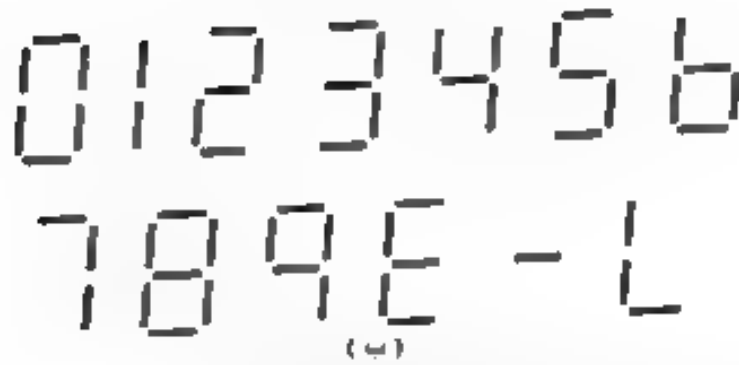
وعندما يصاء واحد من تجهيزات الكاثود ، ينخفض فرق الجهد بين طرفي الصمام إلى قيمة من الجهد تعرف باسم جهد المداومة للصمام وهو يبلغ عادة 350V عليا بأن قيمة الجهد V_{AA} تقع في المدى ما بين 180V أو 300V أما القيم المعتادة للمقاومة R بالنسبة للقيم المختلفة للجهد V_{AA} فهي 16 k Ω مع 180V و 33 k Ω مع 250V و 47 k Ω مع 300V

وعيوب مثل هذا النوع من وسائل العرض ، بالمقارنة مع بعض الأنواع الأخرى ، هي :

- [أ] صغير زاوية المشاهدة
- [ب] الحاجة إلى قيمة عالية لجهد الكاثود
- [ج] تراقص الأرقام ألبا وحلف عند تغير الأرقام السريع أثناء قطع عملية العد .

١٠ - ١٠ فتائل عرض الأرقام

من أكثر أنواع فتائل العرض شيوعا والتي تستعمل مع المعدات والحاسبات الالكترونية هي وسائل عرض الشرائح السبع والتي تتضمن سبع فتائل منفصلة من 8 إلى 8 كما في شكل ١٠ - ٨ [أ] . وتكتب هذه الفتائل على لوحة متصلة داخل غلاف زجاجي .



شكل ١٠ - أ - أبسط العرض الرقمي بسبع شرائح .

يمكن الحصول على عروض مختلفة بأصاؤه مجموعة من هذه الفتائل (انظر شكل ١٠ - أ ، ب) . بالعبارة الأولى خاصة بالأرقام العشرية من ٠ إلى ٩ . ويستخدم رمز الحرف E أحيانا كرمز مختصر في الحسابات الالكترونية لوضع أن العمليات الخارجة عن نطاق هذا القياس . ومن الممكن أيضا تكوين حروف أبجدية أخرى مثل حرف B إذا أصنفت القطع E و d و c . ويمكن استخدام حالة العرض الأخيرة B لتبيان أن جهد السبع يتحدد بالنسبة للمعادن . تعطي أصاؤه القطعة g مفردتها إشارة سطحية .

والابعاد القياسية لفتائل العرض تتمثل في أبعاد من 20 mm — 6 (0.4 — 0.6 in) ويمكن أن يتم تشغيلها على جهود في المدى ما بين 4 v إلى 6 v كما أن مسار السحب تقل قيمته عن حوالي 10 mA ويمكن تشغيل هذا هذا النوع من وسائل العرض مباشرة بنظام منطقية رقيقة الكلفة وبصنع وسائل العروض الكثيرة بأبعاد يبدأ من حوالي 100 إلى 200 mm 2.5 إلى 5 in ومعمل على جهد يبلغ قيمته حوالي 15 v .

ويوضح شكل ١٠ - أ - الدائرة الأساسية اللازمة لعرض رقم مفرد باستخدام شبكة الشرائح السبع القارئة . ويستخدم الدائرة لعدد توليد النصف من مصدر اشارات من الممكن أن يوضع . مثلاً ، على خط إنتاج . ويعرض رقم النصف الناتج على صمام الشرائح السبع . وتحتل الدائرة المبينة أساساً لأشكال متعددة من عروض الشرائح السبع مثل وسائل عرض

وحدات دايود العتف الضوئي (انظر الجزء ١٠ - ١١) لها النسخة المكتوب عليها معلومات سقاطه (data latch) فهي تبسط احسارية رائده وليست ضروريا لعمل النظام. انها تبسط نختر معلومات الحالة السابقة للمعداد خلال الرمز الذي بعد ميه الدائرة مجموعة الانتاج التالية . لذلك فتمنح تسمح للقيم السابقة ان يحسب لتعطى عرض مستقراً او عرضاً بصوء غير واضح حين ان تكتبل مجموعة الانتاج التالية .



شكل ١٠ - ٩ فكرة نظام عرض رقم مفرد بسبع شرائح .

وبعد اتمام مجموعة الانتاج ، يولد العداد نبضة لتسمح لقيم جديدة ان تحول الى معلومات سقاطة يمكن ان تعرض حينئذ على الصمام ويمكن للعداد حينئذ ان يبدأ مباشرة اعاده عمله عليه العد لمجموعة الانتاج التالية . ولكي يمر سار محاسب لتشغيل الفتائل تلحق دائرة تعرف بتشغيل الشرائح المسع بين الدائرة المنطقية وبسيطة العرض .

ومن سمات هذا النوع من شرائط العرض انه بالنظر الى نشاط المسطح المركب فل زاوية المشاهدة عريضة وفي حدود 150° .

١٠ - ١١ دايود الانبعاث الضوئي (LED)

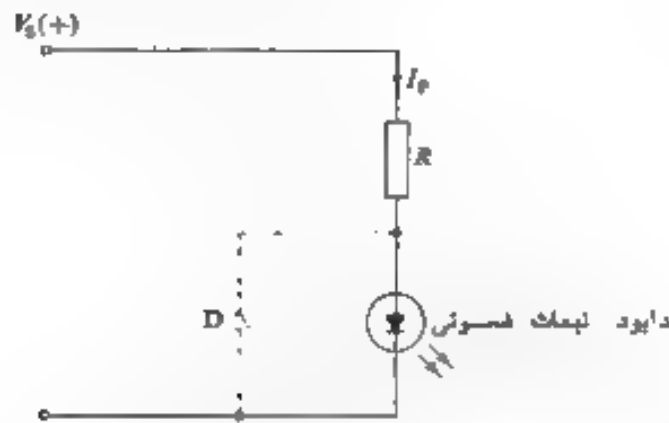
دايود الانبعاث الضوئي هو وصلة ثنائية من مادة شبه موصلة تمتعضوءاً مرئياً ، عندما تكون أمامية الانحياز . ويعتمد اللون المشع على نوع المادة المستخدمة في تصنيع البنية ، واللون المألوف هو الاحمر ، والبرتقالي والاصفر والاحمر ، وتشمل المواد التي مصنع معها دايود الانبعاث الضوئي فوسفيد الحاليوم وارزينيد مومسد الحاليوم . وتستخدم عروض دايود الانبعاث الضوئي في الحاسبات اليدوية والمعداد الثقيلة المشبهة .

ويوضح شكل ١٠ - ١ الدائرة الاساسية لدايود انبعاث ضوئي . تحسب قيمة مقاومة الحد من التيار R من المعادلة

$$R = \frac{V_s - V_F}{I_F}$$

حيث V_F هي قيمة جهد المصدر و V_F هي فرق الجهد الأمامي عبر دايود الانعكاس الضوئي و I_F هو التيار الأمامي للدايود ، وبعقد قيمة V_F و I_F على نوع الدايود وتقع هذه في الحدود $2-2.5\text{ V}$ و $5-25\text{ mA}$ على الترتيب بالنسبة للون الأحمر أما بالنسبة لوحدتي دايود الانعكاس الضوئي الأحمر والأصفر فإنها تقع في الحدود $2.5-3.5\text{ V}$ و $10-40\text{ mA}$ وبالنسبة إلى دايود يعمل على مصدر بجهد 5 V مع تيار أمامي قدره 10 mA وفرق جهد أمامي قدره 2.5 V فإن قيمة R هي

$$R = \frac{5 - 2.5}{10 \times 10^{-3}} = 0.25 \times 10^3 = 250\ \Omega$$



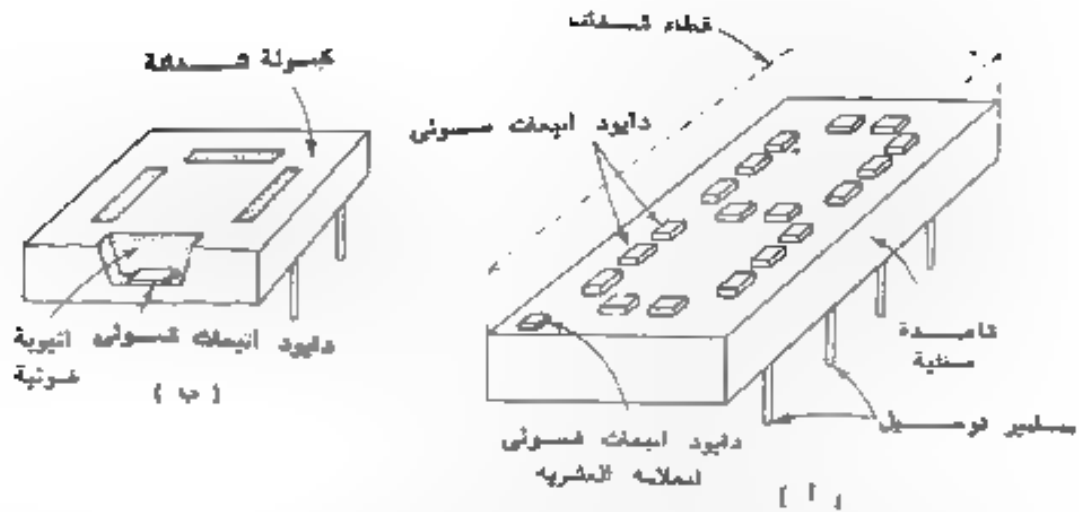
شكل ١٠ - ١٠ دائرة اختبارية لدايود الانعكاس الضوئي

إذا اختيرت المقاومة من مجموعة مقاومات تفاوتها المسموح به مقداره 10% ، فإنه يمكن اختيار مقاومه قيمتها إما $220\ \Omega$ أو $270\ \Omega$.

وحدد الانهيار لعكس لدايود الانعكاس الضوئي صغير تماماً في المدى من 3 V إلى 10 V ، لذلك يكون من الضروري عند استخدام دايود الانعكاس الضوئي مع مصدر جهد متردد توصيل دايود على التوازي معه [دايود D في شكل ١٠ - ١٠ وعلى أسلوب التوازي العكسي .

ومحتوى البيانات المسماة دايود الانعكاس الضوئي هو المقاومة على مقاومة متكاملة للحد من السار ومحتواء داخل الكسولة . ولا تدعو الحاجة في هذه الحالة إلى مقاومة خارجية للحد من التيار عند التشغيل على الجهد المتغير .

ويوضح شكل ١٠ - ١١ طريقتين شائعتين لاستخدام مولد عرض الشرائح السمع لدايود الانعكاس الضوئي في المعدات المتحركة . ويبين شكل ١٠ - ١١ [١] الحيل الأول لهذا النوع من وسائل العرض حيث تتركب مجموعات من دايود الانعكاس الضوئي على سلبية في نموذج من سبع شرائح ، ويعطى الصيغ ببطانة شفافة . ويوضح الشكل أيضاً كيفية تثبيت وضع دايود الانعكاس الضوئي ليتسنى عرض العلامة العشرية .



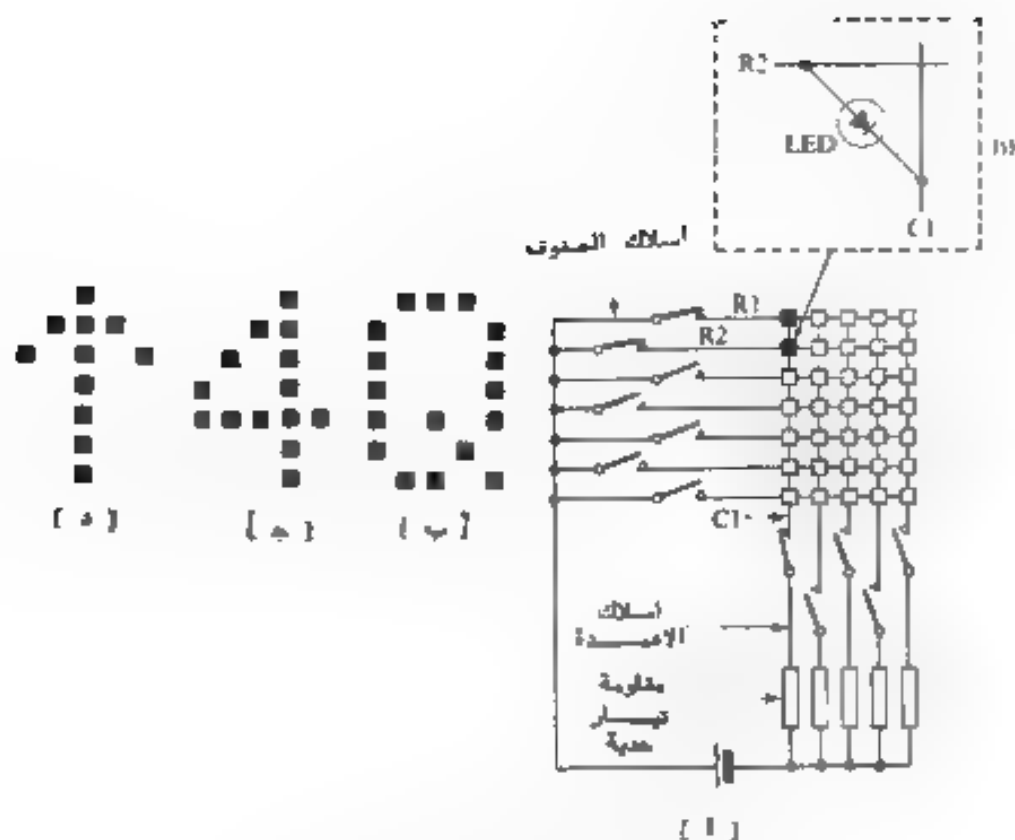
شكل 1 - 11 طريقتي تركيب وسائل العرض بالشرائح السبع لدايود القذف الضوئي

في التطبيق العملي يتحد احد وصعين لرمز العلامة العشرية هما اما الى احدى سار العارض [كما هو موضح بالشكل 10 و احدى اليمين . ويوضح شكل 10 - 11 [ب] شكلا من التركيبات المستحددة لما يعرف باسم * الانابيب الصوتية * التي توصل الضوء من دايود الانبعاث الصوتي الى سطح وسطية العرض . وتتحد الانبوبة الصوتية شكل فجوة مخروطية مملوءة بالزجاج الشفاف . فتنتشر حسيمات الزجاج الضوء من دايود الانبعاث الصوتي ومنك تسمع بهساحة اكبر للعرض من العرض العادي الذي نحصل عليه من الشكل المبين في 10 - 11 [ا] .

والمبائط الموصحة سابقا قدره على تكوين اما ارقام عشرية او مدى محدود من الحروف الانجدية . وباستخدام مصفوفة من وحدات الانبعاث الصوتي بها خمسة اعمدة وسبعة صفوف [تعرف بمصفوفة البقطة 5×7] يمكن عرض المدى العشري والحروف الانجدية كلها بالاضافة الى بعض الرموز

ويوضح شكل 10 - 12 [ا] فكرة عمل وسيلة عرض مصفوفة النقطة 5×7 اذ يوصل دايود انبعاث ضوئي عند سطر بقطة تقاطع سلكي كل صف مع كل عمود بالطريقة الموصحة في الجزء (i) من الرسم [ا] لهذا الشكل . ويتم توصيل الدايود في هذا الشكل بحيث يتصل الانود بسلك الصف R2 ويتصل الكاثود بسلك العمود C1 . فبعد اغلاق المفاتيح R1 و R2 و C1 تشاء مجموعة وحدات الدايود عند تقاطع هذه الخطوط وتبين اشكال [ب] و [د] و [د] بعض العروض النموذجية التي يمكن الحصول عليها من عرض مصفوفة البقطة 5×7 . وبالنسبة للرمز المئوية فان مواصفاتها تطابق شفرة ASCII وتعني الشفرة الامريكية القياسية للمعلومات البنية .

ويستخدم في بعض الاحيان مصفوفة نقطة بدلة عرضه عن 4×7 [اربعة اعمدة وسبعة صفوف] وتحتاج الى عدد اقل من مصادر الاضاءة الا ان هذا يكون على حساب الحد من استهلاكاتها .

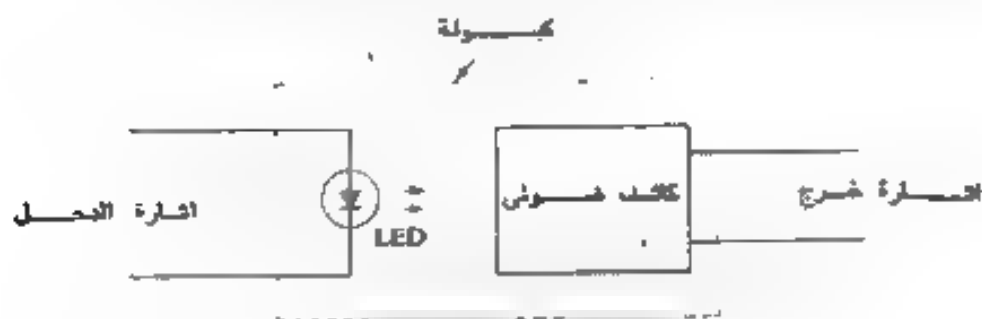


شكل ١٠ - ١٢ عرض مصفوفة النقطة 5×7 A

١٠ - ١٢ وحدات عزل التقارن الضوئي

غالبًا ما يواجه مصممي الدوائر الإلكترونية مشكلة تهيئة وسيلة لعزلها عن بعضها البعض ، مع استمرار المحفظة على نقل الإشارة ذات الترددات العالية . وقد تم التوصل إلى حل كثير من هذه المشاكل بواسطة دوائر العزل التي تستخدم الإلكترونيات الضوئية .

ويوضح شكل ١٠ - ١٣ فكرة عمل عازل التقارن الضوئي . إذ تصلط الإشارة على الدايود ذي الموصلية الضوئية ويرسل خرج الضوء إلى كاشف ضوئي ، حيث يكون كلاهما متباعدًا بالآخر ضوئيًا داخل الكسولة .



شكل ١٠ - ١٣ عازل التقارن الضوئي

والكاشف الضوئي عبارة عن دiod آخر ذو موصلية ضوئية أوتراستور
صوئي . ومن بعض الحالات يحتوي العازل الصوتي أيضا على مكبر كامل
لتيهته بعض قدره اخرج . ونخذ المقاسات الطبيعية لشكل شائع من وحدات
العرب الصوتي المقاسات هي $7.5 \times 6.5 \times 5 \text{ mm}$ ($0.3 \times 0.25 \times 0.2 \text{ in}$)

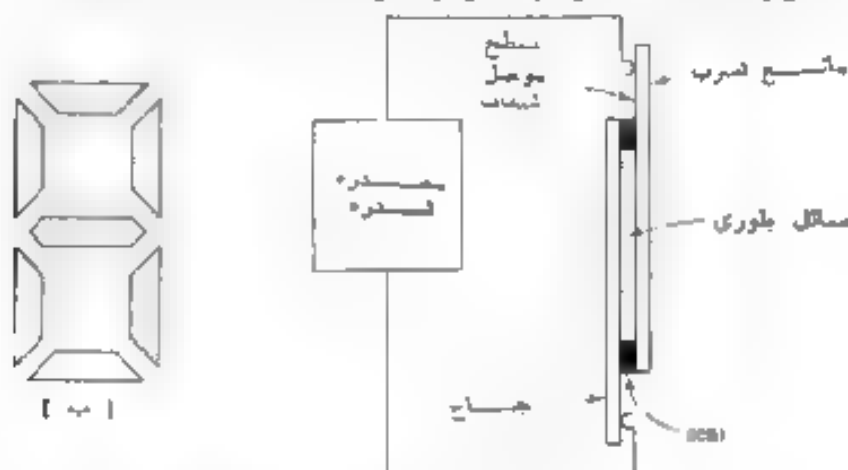
١٠ - ١٣ وحدات الدايدود الفسفوري

يستخدم الدايدود المتقصر [فلوريسين] مكررة في المعدات الإلكترونية النائية
ويعد أساسا على « انعين السحريه » دليل المواقف . ويستخدم عدد
السلط الواحد اسود معطاة بياده متقصره تتوهج بلون احمر مثير عند
قدها بالالكرومات . وهي تحتاج الى جهد اسود حوالي $15V$ ومصدر
سخن بجهد حوالي $15V$. ويستخدم عروص الشرائح السبع في
الحاسبات الإلكترونية الصغيرة .

١٠ - ١٤ مابين السائل البلوري (LCD)

السائل البلوري هو عبارة عن سوائل عضوية والنوع المستخدم في مابين
السائل البلوري يعرف بالسائل البلوري الحيطي (nematic) [من الكلمة
اليونانية nematos التي تعني « تشبه الحيط » بمعنى ان الجزيئات
تتحد شكلا مماثلا للحيط في طبيعتها] .

يوضح شكل ١٠ - ١٤ [١] فكرة عمل مابين السائل البلوري ، حيث يحكم
السائل بين سطحيين زجاجيين ماصين للسحب حيث يعطى السطح الداخلي
لكل منهما بياده موصلة شفافه يؤدي سلبط فرق جهد في المدى ما بين
 15 V الى 30 V [معتمد على سلوب التشغيل] . التي تغير الخواص
الصوبيه للسائل اسلوري . ومن الوجهه الاساسية ، يوجد نوعان متاحان



[١]

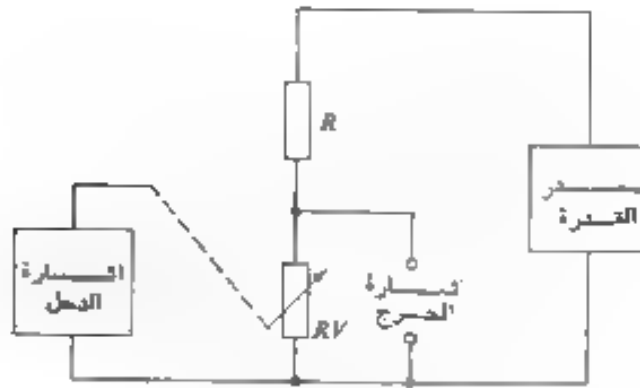
شكل ١٠ - ١٤ فكرة عمل عروص السائل البلوري (ب) مابين سائل بلوري نظيدى
- ذي الشرائح السبع .

الفصل الحادى عشر

المكبرات والدوائر المنطقية الأساسية

١١ - ١ أساس عمل المكبرات

يوضح شكل ١١ - ١ فكرة عمل كثير من أنواع المكبرات الإلكترونية . ويكون المكبر من مقاومه ثابته متصلة على التوالي مع مقاومه متغيرة RV حيث يحكم جهد الدخل أو اشارة الدخل فى هذه المقاومه . هذا وتستخدم كلمة " اشارة " فى الالكترونيات ليعطى معنى كمية كهربائية تحوى على المعلومات أو البيانات المراد نقلها كما يستخدم كلمات تكبير أو كسب فى هذا المجال لتعنى زياده فى قيمة الاشارة .



شكل ١١ - ١ فكرة عمل المكبرات الإلكترونية

يعبر عن الكفاءة الكهربائية لكثير من المكبرات كنسبة بين القدرة الممتصة فى الحمل الى القدرة المغداه من المصدر ، ويمكن أن تنخفض هذه النسبة الى 10% ولكن طالما تقوم الدائرة بتكبير الاشارة بطريقة مرضيه فلا تمنى قيمة الكفاءة ايا من المصمم أو المستهلك . وتبلغ القدرة المتضمنة دائما مجرد جزء من الوات فى المكبر من النوع الموضح عالياه . ومع كل ، فإن الكفاءة المرتفعة تعتبر أمرا حيويا بالنسبة لمعدات التردد السهمى ، حيث تعادل قدرة الخرج حوالى 30 وات أو أكثر .

وتتمثل إشارة الحرج من المكر عادة [ليس بالضرورة] مع إشارة الدخل إلا أنها مكبرة أو مصححة وتظهر بين طرفي المقاومة المتغيرة RV المبينة في شكل ١١ - ١ . ويحل الترانزستور أو الصمام في المقادير القديمة ، من التطبيق العملي ، محل هذه المقاومة المتغيرة . حيث تتحكم قيمة إشارة الدخل في تحديد قيمة المقاومة الفعالة .

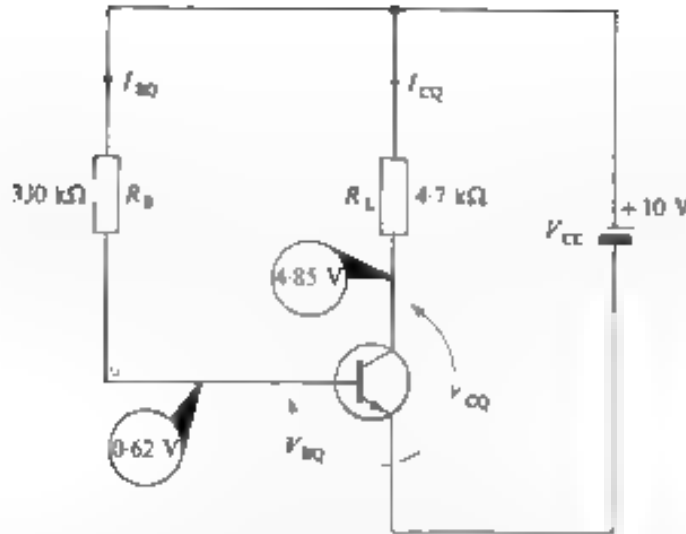
هذا ويوجد عدة طرق لتقسيم المكبرات ، وفي إحدى هذه الطرق تقسم إلى مكبرات خطية ومكبرات مفتاحية . فالمكرر الخطي يقوم بتكبير الشكل الموهى لإشارة الدخل بأمانه ويحول أى تشويه . ويوصف المكبرات الخطية التى تتعامل مع إشارات دخل ذات قيم صغيرة [أى أن قيمة ح.و.ر. الجهد تعادل نصفه من وحدات الملى مولت] أحيانا بمكبرات الجهد ، حيث تكبر القيم الصغيرة لجهود الدخل بطريقة خطية . ولقد تم تصميم مكبرات قدرة تستطيع أن تتعامل مع مستوى كاف من القدرة مثل حرج نبائط المحرار أو دائرة المحال للمحرك الكهربائى ومستويات قدرة تبدأ من نصف وحدات من ألوات إلى عدة كيلو وات وتعتبر قيمة المقاومة المتغيرة المسة في شكل ١١ - ٢ بالنسبة للمكرر المفتاحى لحاة من قيمة صغيرة إلى مالا نهائيه ، هذا وتصمم هذه الطائفة الدوائر المطلقية .

هذا وسوف تعرض المكبرات الخطية في الفصول من ١١ - ٢ إلى ١٠ - ٨ على أن تقدم الدوائر المفتاحية في بقية فصول الباب .

١١ - ٢ مكبر أساسي من نوع الباعث المشترك

سبق أن قدمنا في الباب التاسع ، أشكالاً مختلفة لترانزستور الباعث المشترك مع تقديم خواصها . وفي هذا الجزء من الكتاب سنعالج كيفية استخدام الترانزستور على منوال الباعث المشترك لتكبير الإشارات .

يوضح شكل ١١ - ٢ شكلاً هيكلياً للمكرر المستخدم مع ترانزستور من التطبيق سي - م سي . وسأخذ في الاعتبار أولاً حالات التشغيل لهذه الدائرة بالنسبة للبار المستمر . إذ تسمح القيم المحددة في هذا التشغيل للترانزستور أن يعمل كمكبر . وللحصول على حالات التشغيل الصحيحة يتحتم أن يمحز الترانزستور [الذى يحل محل المقاومة المتغيرة] في شكل ١١ - ١ بحيث يعادل القيمة الساكنة لجهد الجيع حوالي نصف جهد المصدر ، أى يجب أن يساوى هو إلى $V_{CC}/2$. وتبلغ قيمة جهد المصدر V 10 في الحالة الموصحة بالشكل ، مع مقاومة انحياز R_B في دائرة القاعدة مقدارها $330\text{ k}\Omega$. كما وحد أن قيمة جهد الجيع تعادل 4.85 V [لاحظ أن هذه القيمة لجهد الجيع هي نتيجة لاختيار الترانزستور بطريقة عشوائية ، لذا



شكل ١١ - مستويات الجهد المستمر في المكنر الأساسي

استخدم ترانزستور آخر من نفس النوع ، تكون قيمة جهد المجمع هي جميع الاحتمالات مختلفة عن هذه القيمة المعطاة [. هذا وقد أعطيت قيم الجهود في شكل ١١ - ٢ في حاله سكون الدائرة . أي في حالة عدم دفع اشارة في منطقة قاعدة الترانزستور وبالتالي يسمى جهد المجمع المبني بجهد السكون للمجمع V_{CQ} كما يسمى جهد القاعدة الموصح بجهد سكون القاعدة . ومن القيم المهمة ، فإن قيمة تيار السكون بالقاعدة هي

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_B} = \frac{10 - 0.62}{330 \times 10^3} = 28.5 \times 10^{-6} \text{ A or } 28.5 \mu\text{A}$$

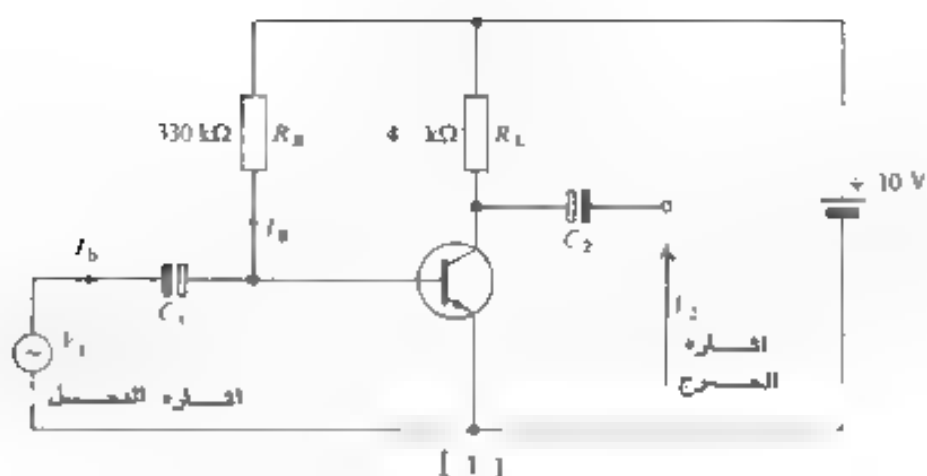
وقيمة تيار السكون للمجمع هي

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CEQ}}{R_L} = \frac{10 - 4.85}{4.7 \times 10^3} = 1.1 \times 10^{-3} \text{ A}$$

ويكون التيار الكلي المسحوب من مصدر $1.28 \text{ mA} = 1.1 + 0.028 \text{ mA}$.
والتي تجعل القدرة المطلوبة من المصدر وحدة اكبر قليلا من 11 mW .

وتعطى النسبة بين قيمتي تيار السكون [أي أن نسبة I_{CQ}/I_{BQ}] معاملا اومبارامتر للترانزستور المعروف بالكسب في حالة التيار المستمر أو كسب التيار للاشارة المتكررة ، ويعرف بالرمز h_{FE} . هذا وقد سبق لنا في الفصل التاسع توضيح الترانزستور h_{FE} وهو كسب التيار في حالة الاشارة الصغيرة ولاغراض عملية كثيرة ، ويكون من الصواب افتراض أن قيمة h_{FE} تساوي بالتقريب h_{FE} وتحدد قيمة كسب التيار من الارقام السابقة كما يلي :

$$38.6 = \frac{1.1 \text{ mA}}{0.0285 \text{ mA}} = \frac{\text{تيار المجمع}}{\text{تيار القاعدة}} = \text{كسب التيار}$$



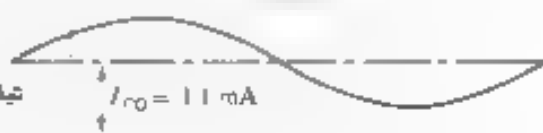
[ب]



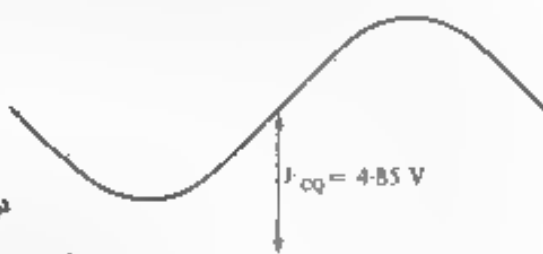
[ج] تيار القاعدة الكلي



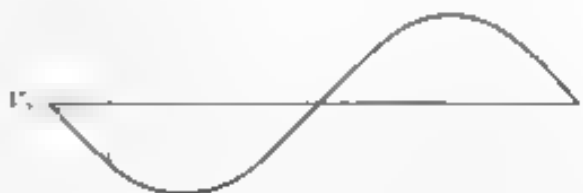
[د] تيار المجمع الكلي



[هـ] تيار المجمع الكلي



[و]



شكل ١١ - ٢ (أ) دائرة مكبر كاثدة ، من [ب] إلى [و] بين الأشكال الموجية في الدائرة [الشكل الموجية مرسومة بدون استخدام مقاييس رسم] .

ولا تعتبر هذه القيمة لكسب القيار مرتفعة على وجه الخصوص ، ولكنها تقع ضمن المدى الواسع لمجموعات الترانزستور التي تبلغ القيمة المتوسطة

لكيب أسرارها حوالي 60 وبعد أن يكون الحالات المعسبة للتشغيل بأسرار المسمى قد حددت ، بوجه أسوء القارئ إلى كسر الإشارة المبردة وموضح شكل 11 - 3 | 1 ، الدائرة الكاملة التي تعامل مع الإشارات المبردة . حيث توصل إشارة الدخل المبردة V_1 إلى المكبر من خلال مكثف الكترولبي C_1 ، والذي ستقدم السب من استجابته من هذا العمل . فمن ضمن وظائف هذا المكثف منع جهد السكون بالقاعدة من أن يمرر تياراً من مصدر إشارة الدخل . لذا يسمى مكثف C_1 في بعض الأحيان بالمكثف **المانع** . هذا ويقر معاملة المكثف C_1 بمقاربه مع معاومه الدخل للترانسستور α وهي المعاومة المعاله بين القاعدة وأبعث α عند ترددات التشغيل العامة للمكبر .

من هذا يصبح أنه . عند سبليط إشارة دخل مبردة من طرفي دخل المكبر ، يظهر الإشارة كلها من الناحية المعاملة عند قاعدة الترانسستور وينبع هبوط قليل جداً في الجهد بين طرفي المكثف C_1 . وعلى سبيل المثال ، إذا كان أقل تردد يراد تكبيره هو 32 Hz واستخدام مكثف مائع سعة 50 μF ، فإن معاملة المكثف عند هذا التردد يعادل حوالي 100 Ω . وبذلك يصبح قيمة هذا المكثف متناسبة للتطبيق المرغوب . ومن الضروري استخدام مكثف الكترولبي لهذه الحالة حتى نضمن لنا الحصول على مثل هذه القيمة المرتفعة لمكثف في حجم عتبه عادية صغيرة ، ما لمكثف سعة 50 μF محدد يقتر مساوي 25V قد يكون قطره حوالي 8 mm (0.3 in) وطوله 20 mm (0.8 in) ويجب توصيل المكثفات المستخدمة بالطريقة الموصحة بالشكل حيث أنها من النوع القطبي .

يوضح شكل 11 - 2 من ب إلى ا و | الأشكال الموجية للدائرة عندما سجد إشارة الدخل شكلاً حساً . وقد وقعت هذه الأشكال الموجية بدون استخدام مقياس رسم معين ، حيث يمكن أن نسيب إشارة الدخل (V_1) ، قيمة تقع في حدود مصنع وحدات من النبوت . وبؤدى كسب الجهد للمكبر إلى هذا الاختلاف النسبي للإشارتين . وكما سيمرى فيما بعد ، يسمح بأنك قيمة ج.م.م لإشارة الدخل مقدارها حوالي 15 mV ، والا أصبح الشكل الموجي للخرج واضح التشوه .

وعندما مساوي قيمة الجهد V_1 من شكل 11 - 3 | ب | صمراً ، نحدد قيم التيار والجهد المصاحبة للترانسستور ما يساوي القيم الساكنة للدائرة [انظر شكل 11 - 2] ، والان ، لنحدد من الاعتبار الحالات السحية من الدائرة عند اللحظة X على الشكل الموجي الموضح في شكل 11 - 3 . نحدد هذه اللحظة من الزمن . يتخذ جهد إشارة الدخل V_1 قطعة موجية | شكل ب | وهكذا تساهم بجزء من قيمة تيار القاعدة - عللاوة على التيار المنساب في مقاومة التحيز القائمة R_B ، لذا ، يزيد تيار القاعدة انكلي عند اللحظة X عن تيار السكون [انظر شكل 2] . وحيث أن قيمة كسب التيار للترانسستور يعادل 38.6 ، فإن التغير في قيمة تيار المجمع بالنسبة لقيمته الساكنة يزد من المغير في قيمة تيار القاعدة بالنسبة لقيمته الساكنة

بما يعادل 38.6 مرة ، ومن الممكن ان نلاحظ هذه الزيادة لتيار المجمع في شكل ١١ - ٣ [د] . هذا ونؤدى الزيادة في تيار المجمع المسبب في المقاومة R_L عند اللحظة X الى زيادته في فرق الجهد بين طرفي R_L . وبالتالي نقل قيمة جهد المجمع عند اللحظة X عن قيمة جهد السكون للمجمع V_{co} [انظر شكل هـ] .

وبملاحظة القارئ ان الشكل الموجي لجهد المجمع الكلي يكون من اشارة مترددة او مركبة مترددة بصفة اني جهد السكون للمجمع . وبصفة عامة ، يتركز الاهتمام بالمركبات المترددة فقط من الشكل الموجي لجهد المجمع ، حيث انها هي الساحة الكبرى لاشارة الدخل . لذا كان من اللازم فصل المركبات المترددة لجهد المجمع عن الاشارة الكلية ويعطى المكثف المتبع C_2 الطريقة المثالية لتفريق المطلوب . حيث يعوق المكثف جهد السكون للمجمع من الظهور بين طرفي الخرج ويسمح للمركبات المترددة فقط بالمرور مع فقد قليل . ولكن يستطيع المكثف ان يقوم بهذا العمل لانه ان تكون مفاعلة المكثف C_2 منخفضة عن اقل تردد تشغيل للمكبر . مرة اخرى ، نقرر ان المكثف C_2 هو مكثف الكترولتي ذو سعة قيمتها حوالي $50 \mu F$ [يمكن استخدام تبة في المدى من $10 \mu F$ الى $100 \mu F$ طبقا لنوع التطبيق] .

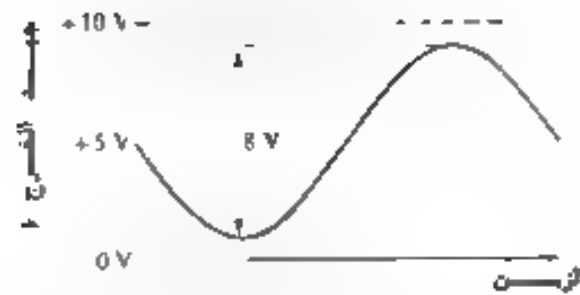
وعند تسليط اشارة جيبية حذر متوسط مربع قيمتها يساوي $10mV$ على الدائرة بالشكل ١١ - ٣ [ا] عند تردد قيمته $1 kHz$ ، وجد ان قيمة جهد الخرج تعادل $1.9 V$. علما بان هذه الدائرة غير متصلة بحمل خارجي ، وفي هذه الحالة يعطى كسب جهد المكبر بالتعبير الاتي :

$$\begin{aligned} \text{كسب الجهد في حالة اللامحمل} &= A_v = \frac{C_2}{C_2 + C_{in}} \\ &= \frac{1.9}{0.01} = 190 \end{aligned}$$

اي ان الدائرة تكبر جهد الدخل بمعامل قدره 190

ومن احدى سمات هذا المكبر ان شكل موجة الخرج يضاد شكل موجة الدخل [انظر الاشكال ١١ - ٣ [ب] و ١١ - ٣ [و] . لهذا يوصف هذا المكبر بمكبر عاكس الطور .

ولنأخذ الان من الاعتبارات التأثير الواقعي لقيمة كسب الجهد على قيمة اقصى جهد دخل V_i من الممكن تسليطه على الدائرة قبل ان تصبح اشارة الخرج مشوهة ومن الافضل توضيح ذلك من خلال شكل ١١ - ٤ . فبس الساحة النظرية ، يستطيع جهد المجمع ان يتغير او يتأرجح من ادنى قيمة وهي الصفر [وتحدث عندما يكون قيمة تيار القاعدة كبيرة كبراً كافياً لتضع الترانزستور في حالة تشبع] .



شكل ١١ - ١ اقترود على أقصى قيمته خارج الجهد .

الى قيمه ممكنة وهي مساوية لجهد المصدر [والتي تحدث عندما يساوى تيار القاعدة صفراً وعندما يعمل الترانزستور كمقاطع] . وبواحد عليها عدة أساليب ندعو لعدم امكان الحصول على جهد التارجح هذا ، ولسوء يعطى هنا سمين منها . واول السمين هو صعوبة التوصل الى القيمة المثالية لجهد السكون للمجمع وهي $V_{cc}/2$ 5V من الحالة المسماة بالشكل (١١ - ٣) باستخدام مكويات الدوائر المماحة . وبمراوح جهد السكون من 4.5 V الى 5.5 V يعثر ممولا . ويقلل هذا بطريقة فعالة من الرحلة القصيرة لجهد الدروة المسموح [اما عند الانحياز الى القيمة الموصى به او عند الانحياز الى القيمة السالبة] للشكل الموحي للمجمع الى قيمة تقل عن 5V . وثاني هذه الأساليب يرجع الى ان حواس خرج الترانزستور تصبح غير مستطية اذا ما طلع قيمة تيار القاعدة مقداراً صغيراً جداً او اذا طلع مقداراً كبيراً جداً . فل اقرب تيار القاعدة من هذه النهايات . يصبح شكل موجة جهد الخرج مشوها . وبلغ أقصى قيمة معقولة لتأرجح جهد المجمع من الدروة الى الدروة في حالة مصدر جهد 10 V حوالي 8 V . وباستخدام منه كسب الجهد المحسوبة اعلاه ما قيمة جهد الدخل من الدروة الى الدروة التي تعطى خرجاً لجهد التأرجح مقداره 8V يكون .

$$8.180 = 0.042V = 42 \text{ mV}$$

ويكون حذر متوسط مربع [ج.م.م] قيمة V_1 المأظر للقيمة من الدروة الى الدروة هو $V_1 = 15 \text{ mV}$ وحسب مع هذه القيمة لجهد الدخل ، سيظهر جهد الخرج بعض التشويه اذا ما قورن بموجة حبيبه حالصه .

١١ - ٢ قواعد مسهلة وواضحة لحساب قيم مكونات الدائرة

تصميم دوائر الكترونية كثيرة على أسس تتبع قواعد مسهلة وواضحة قد تكون غير محققة الا انها مسه على أسس علمية . دعنا نرى كيف يمكن تنفيذ التصميم الاساسي بالنسبة للدائرة الموضحة في شكل (١١ - ٣) .

اولاً ، يجب ان نتخذ قرار قيمة جهد المصدر وتيار التصريف المسموح به . ففي الدائرة المذكورة . يمكن ان نقرر استخدام مصدر قيمته 10 V مع تيار تصريف للمجمع حوالي 1 mA على اعتبار انها قيم مقبولة .

واللحصول على أكبر قيمة ممكنة لجهد الخرج المتأرجح ، يتحتم أن يعادل جهد المكور للمجمع حوالى نصف مصدر الجهد أى لابد أن تكون قيمته حوالى 5V . ويطلب هذا ، فى حالة المكور عندما يكون ميار المجمع قيمته 1 mA أن يظهر جهداً قدره 5V بين طرفى R_L . وهكذا نأى :

$$R_L = 5 \text{ V} / 0.001 \text{ A} = 5000 \Omega$$

وتصبح القيمة المناسبة التى يمكن توصيلها بالمقاومة هى 4.7 k Ω .

هذا ويعتمد تيار المكور للقاعدة على قيمة كسب التيار للترانزستور ولنفرض أن قيمة هذا الكسب تعادل 40 ، إذن

$$I_{BQ} = I_{CQ} / 40 = 1 / 40 = 0.025 \text{ mA or } 25 \mu\text{A}$$

وعند ما نمر هذه القيمة من التيار فى مقاومة احياز القاعدة R_B ، يتحتم أن يساوى فرق الجهد بين طرفيها ما يلى :

$$[V_{CC} - \text{ فرق الجهد بين القاعدة والباعث للترانزستور }]$$

وحيث أن الترانزستور المستخدم مصنوع من السليكون ملى فرق الجهد بين قاعدته والباعث شلح حوالى 0.6 V وهذا يعطى فرق جهد بين طرفى R_B مقداره 9.4 V وساء على ذلك ويكون

$$R_B = \frac{9.4 \text{ V}}{25 \times 10^{-6} \text{ A}} = 0.376 \times 10^6 \Omega \text{ or } 376 \text{ k}\Omega$$

وتصبح القيم السابقة هى نقطة البداية لاختيار قيمة المقاومة R_B ، ولقد نقرر احضار قيمة لها تساوى 330 k Ω بصفه نهائيه .

مقاومة الدخل للمكبر : يلزم معرفة بعض المعلومات من معاوقة الدخل للمكبر حيث أن هذه القيمة - كما سترى فيما بعد - تعتبر مقدرة لحساب كسب الجهد للمكبر . فمعاوقة الدخل هى المعاوقة التى « ترى » من مصدر داخل الإشارة . ونفرض أن قيمه مدعلة المكثف C_1 صغيرة ، تصبح معاوقة الدخل عبارة عن مجموع التوارى للمقاومات المنهية عند توصيلة القاعدة للترانزستور ويسمى آخر تتصل R_B على التوارى مع المقاومة بين القاعدة والباعث للترانزستور ، وقيمة المقاومة الأخيرة تعادل حوالى 1 k Ω فى حالة مكبر جهد الإشارة الصغيرة . وهكذا ، نكافىء معاوقه الدخل 1 k Ω على التوارى مع 330 k Ω والتى يمكن اعتبارها من الناحية الواقعية 1 k Ω .

القيمة الفعالة لمقاومة الحمل : تصبح القيمة الفعالة لمقاومة الحمل فى حالة عىاب مقاومة الحمل الخارجى الموصل بين طرفى الخرج ، R_L ، والتى تساوى 4.7 k Ω فى شكل 11 - 3 [1] . ماداً وصل حمل خارجى ، مثلاً بمقاومة 1 k Ω بين طرفى الخرج ، يصبح القيمة الفعالة لمقاومة الحمل مسلوقة لتركبة التوازي للمقاومة 1 k Ω و R_L أى 0.825 k Ω

كسب الجهد للمكبر : يعطى قيمة كسب الجهد للمكبر بالتعبير الآتى .

القيمة النصفية بمقاومة الحمل

كسب الجهد = $A_v = \text{كسب التيار} \times \frac{\text{قيمة مقاومة الحمل للمكبر}}{\text{قيمة مقاومة الحمل للمكبر}}$

باستخدام الأرقام السابقة ، كسب الجهد بدون الحمل هو

$$38.6 \times \frac{4700}{1000} = 181.4$$

وسلاحظ القارىء أن هذا يتفق إلى حد كبير جداً مع القيمة المقاسة وهي 190 ، ناداً وصل حمل مقداره $1\text{ k}\Omega$ ، تصبح القيمة النظرية لكسب الجهد

$$38.6 \times \frac{825}{1000} = 31.9$$

وقد وجد أن قيمة كسب الجهد المقاسة في حالة وجود حمل بمقاومته $1\text{ k}\Omega$ تعادل 33 .

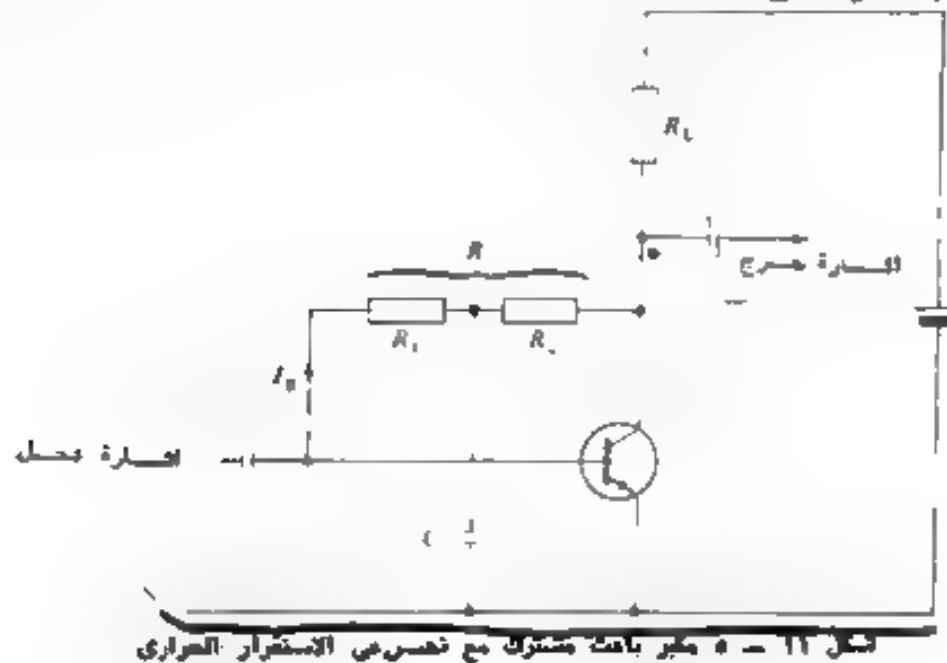
١١ - ٤ الاستقرار الحرارى للمكبرات

تتميز قيم كل من جهد السكون للجمع وكسب الجهد عند تغير درجة الحرارة المحيطة التى تعمل عندها الدائرة المسطحة في شكل ١١ - ٣ [١] وتسبب الزيادة في درجة الحرارة انحرافاً طفيفاً في جهد المجمع . وقد يكون ارتفاع قيم جهد السكون للجمع وتغير قيم كسب الجهد أمراً غير ملائم بالنسبة لكثير من المكمرات . ولذلك فقد استنبطت الدوائر العملية طرقاً للحد من تأثير التغير في درجة الحرارة المحيطة .

يعرف التغير البطيء في جهد المجمع مع درجة الحرارة بالانسياب ، وهو نتيجة تغير نقطة تشغيل الترانزستور على منحنيات الخواص ، والتغير في هذا الجهد ، بدوره ، أن هو الا نتيجة للزيادة في تيار المجمع عند الزيادة في درجة الحرارة . وفى مكبرات الجهد تؤدي الزيادة في تيار المجمع بشفة للتأثيرات الحرارية إلى زيادة القدرة المبددة في الترانزستور . ولكن هذا لا يثقل الترانزستور في المادة وعلى أى حال . يؤدي تأثير لحرارة الانسياب ، في بعض مكبرات القدرة حيث يعمل الترانزستور قرب مهله نفسه . إلى استحداث ميلر حرارى يمكن أن يبريد من درجة حرارة الترانزستور . مما يؤدي إلى زيادة أكثر في تيار المجمع من دى قبل . ناداً لم يمكن التحكم في هذا التأثير السابق بطريقة ما ، فقد ترد الحرارة المولدة في الترانزستور عن حرارة التبريد للنسيطة .

عندما تراكم هذا التأثير ، قد تستمر درجة حرارة الترانزستور في الارتفاع ويريد احتمال حدوث التلف التام . ويعرف هذه الظاهرة بالانسياب الحرارى . ونظراً للأسباب السابقة ، يصبح المكمراً الانسياب في شكل ١١ - ٣ [١] غير مرضى من وجهة نظر الاستقرار الحرارى .

وبمع التوصل الى بعض التحسينات من الاستقرار الحرارى باستخدام الدائرة الموصحة فى شكل ١١ - ٥ ، فى هذه الدائرة ، يحصل على التيار المستمر الانحيازى للقاعدة من جهد المجمع خلال مقاومة الشبكة R . لكن تعطى عدد الدائرة بعض حالات السكون الخاصة بالدائرة الاساسية على وجه التقريب مبلغ قيمة المقاومة R فى شكل ١١ - ٥ حوالى نصف قيمة المقاومة R_0 فى شكل ١١ - ٣ .

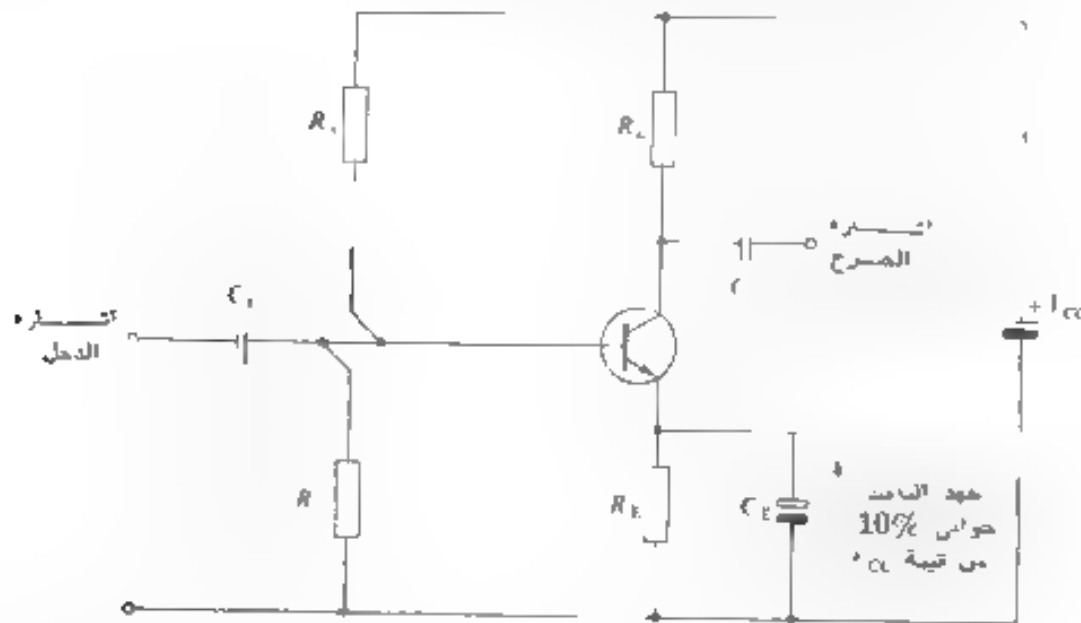


اى ان قيمتها تعادل حوالى $165\text{ k}\Omega$. وبموضع فيها يلى السبب الذى ادى الى ان نصنع دائرة شكل ١١ - ٥ احسن من الدائرة الاساسية عند مقارنتها مع بعضهما البعض من وجهة نظر الاستقرار الحرارى . فنفترض الان ان درجة الحرارة المحيطة بصدد الارتفاع ، مما يجمع تيار المجمع معها الى الزيادة ويكون الاثر النهائي هو انخفاض جهد المجمع . وحيث ان احدى نهايت شبكة مقاومة الانحياز موصلة بالمجمع ، فان انخفاض جهد المجمع سيؤدى الى انخفاض مباشر فى قيمة تيار القاعدة I_B . ويؤدى هذا بالتالى الى الحد من ارتفاع قيمة تيار المجمع حتى حوالى 50% من القيمة التى يمكن ان تقع بالنسبة للدائرة الاساسية فى شكل ١١ - ٣ .

ومن عيوب ترتيبية شكل ١١ - ٥ ان التغير فى جهد المجمع عند تردد الاشارة [اى اشارة الخرج المرغوبة] يرتد ايضا ليعبى القاعدة ويحد من قيمة تيار القاعدة ويعرف هذا بالتأثيرية المرتدة السالبة . وكما سنرى فى الفصل الثالث عشر يمكن ان تؤثر على انخفاض قيمة كسب جهد المرحلة . ولكي نمنع هذا من الحدوث نهما نقطة تقعر متوسطة من سلسلة المقومات بحيث توصل النقطة المتوسطة الى الخط المشترك خلال المكثف C وهو الموضع بخط متقطع فى شكل ١١ - ٥ .

ويهيئ هذا المكثف مسلكاً ذي معاملته مخصصة للضارات المترددة للإشارة المناسبة من R_L . وبذلك تجمع هذه الضارات من R_L مع R_E في قاعدة الترانزستور وتقيمة المكثف C المناسبة في هذه الحالة تبلغ حوالي $0.1 \mu F$.

وبوصف شكل ١١ - ٦ دائرة كثيرة الشبوع ويعطى استقراراً حرارياً أفضل . ولقد هُتف هذه القيمة المرمعة من الاستقرار الحراري لهذه الدائرة سحاً استخدام سلسلة محريء الحهد R_E في دائرة حثث القاعدة مع المقاومة R_F والمكثف C_F في دائرة الماعث .



شكل ١١ - ٦ مكر شائع هذا ذو باعث مشترك على درجة عالية من الاستقرار الحراري .

وبصيح وطبعم سلسلة محريء الحهد بالمقاومين R_1 و R_2 هي التاكيد على دوام المحافظة على جهد السار المستمر لقاعدة الترانزستور بقيمة تكاد تكون ثابتة على مدى درجة حرارة التشغيل للدائرة . ويتناسب جهد التمار المستمر الناتج بين طرفي المقاومة R_E مع قيمة تيار الماعث ، وبلغ القيمة المتوسطة للحهد الظاهر بين طرفيها حوالي 10% من قيمة جهد المصدر V_{CC} في العادة . ويتكون التيار الكلي للماعث من التيار المستمر « الساكن » ، بالإضافة إلى التيار المتردد الناتج عن الإشارة . ومن أجل تحقيق استقرار حراري يستطرم الأمر أن يكون فرق الحهد بين طرفي R_E من السار المستمر ، ولتحقيق هذا يتحتم تفويت المقاومة R_E بمسار له معاوقة ذات قيمة منخفضة حتى لا تثير المكومات المترددة من تيار الماعث في هذه المقاومة . ويؤدي المكثف C_F هذا الدور وهو عبارة عن مكثف الكتروليس سعته حوالي $100 \mu F$ لو أكثر .

وعنما يلي نعرض الطريقة التي تهىء بها هذه الدائرة الاستقرار الحراري

المطلوب . نعتد زيادة درجة الحرارة المحيطة ، تميل قيمة كل من التيار المستمر — للمجموع وكذلك تيار الباعث للزيادة . فتؤدي الزيادة في تيار الباعث الى زيادة القيمة المتوسطة لفرق الجهد بين طرفي المقاومة R_E ، ومرتفع جهد الباعث بالنسبة للخط المشترك . وحيث أن جهد منطقة القاعدة يحافظ على ثباته بواسطة المقاومتين R_1 و R_2 فإن الزيادة في جهد الباعث متأثر بدرجة الحرارة تؤدي بالتالي الى انخفاض فرق الجهد بين القاعدة والباعث . ويؤدي هذا الانخفاض في الجهد الى انخفاض مصاحب في تيار القاعدة . وكما ذكر سابقا ، يؤدي الانخفاض في تيار القاعدة الى انخفاض القيمة المتوسطة لتيار المجموع الذي يعادل لدرجة كبيرة الزيادة في تيار المجموع نتيجة ارتفاع درجة الحرارة . وتعادل الزيادة في تيار المجموع للدائرة في شكل ١١ — ٦ حوالي مجرد خمس الى عشر قيمة الزيادة في حالة الدائرة الأساسية في شكل ١١ — ٣ . وذلك مع قيم المكونات المعتادة التي تقابلها في مثل هذا النوع من الدوائر .

وعبما يلي طريقة بسيطة وواضحة للاختبار المبدئي لقيم مكونات الدائرة النسبية في شكل ١١ — ٦ . لنفترض أن قيمة V_{CC} تعادل 0 V ، وأن التيار المسحوب من المصدر يعادل حوالي 1 mA . علما سمح لفرق جهد مقداره 1 V أن يظهر بين طرفي المقاومة R_E ، فإن $R_E = 1\text{ V} / 1\text{ mA} = 1\text{ k}\Omega$. ولكن نحصل على درجة استقرار حراري مقبولة ، يتحتم أن تساوى قيمة R_2 حوالي عشرة أضعاف R_E ، أي أن $R_2 = 10\text{ k}\Omega$. ويمكن حساب قيمة المقاومة R_1 من المعادلة الآتية :

$$R_1 \approx R_2 \times \frac{V_{CC} - \text{جهد السكون للقاعدة}}{\text{جهد السكون للقاعدة}}$$

وحيث أن الجهد بين القاعدة والباعث للترانزستور المصنوع من السليكون تعادل حوالي 0.6 V . فإن قيمة جهد القاعدة بالنسبة الى الخط المشترك تصبح حوالي 1.6 V ويكون

$$R_1 = 10\,000 \times \frac{9 - 1.6}{1.6} = 46\,250\ \Omega$$

ومن الممكن أن نختار قيمة مبدئية مقدارها $47\text{ k}\Omega$ للمقاومة R_1 . وحيث أن جهد السكون للمجموع يجب أن يقع بين V_{CC} وجهد السكون للباعث ($IV =$) ، فيكون فرق الجهد بين طرفي R_2 عندما يمر بها تيار 1 mA ما يعادل $45\text{ V} = (9 - 1)/2$ كذلك .

$$R_2 = 45\text{ V} / 1\text{ mA} = 45\text{ k}\Omega$$

ومن الممكن اختيار قيمة مقدارها $39\text{ k}\Omega$ للمقاومة R_2 ويصبح كسب الجهد بالتالي لهذا المكنر في حالة اللاحمل حوالي 200 . وعند توصيل حمل بالمكنر ، ينخفض كسب الجهد الفعال في العادة بطريقة ملحوظة [انظر أيضا الجزء ٣ — ١١] ويصل كسب الجهد المحتمل في حالة وجود الحمل حوالي 40 .

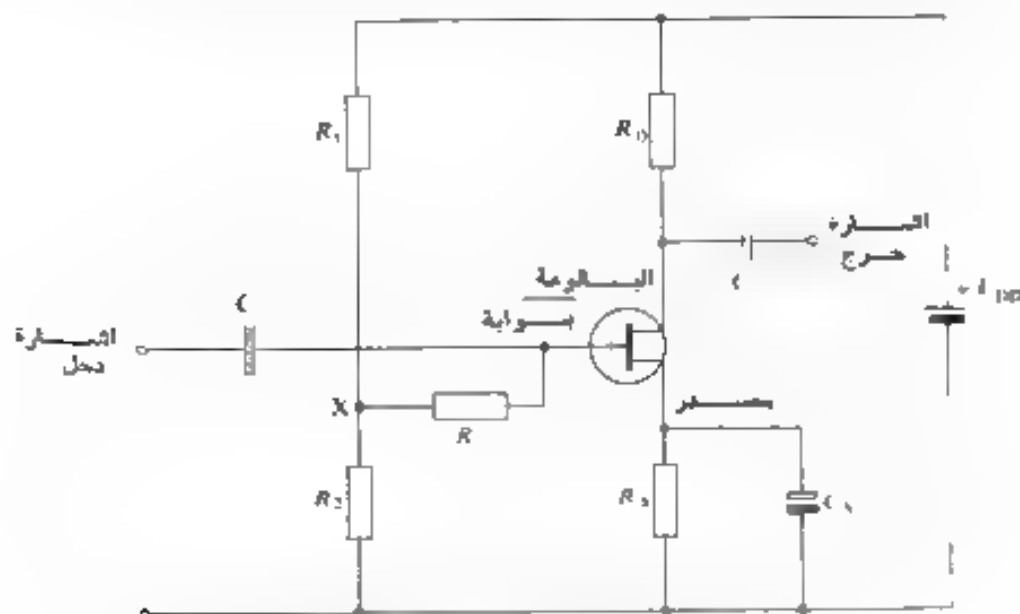
مدا ظهر المكثف C_p في شكل 11 - 6 كدائرة مفتوحة ، فان قيل
الباعث كله ينساب خلال R_p . وبسبب من هذا تسليط تغطية خلفية مرتدة
سأله على المكبر ، وباستخدام القيم المحسوبة سابقا ، نجد ان كسب الجهد
للمكبر يضمن ما يساوي 3 الى 5 عند أي عطل من هذا النوع ، كما
يسرى في الفصل الثالث عشر ، ومثل هذا النوع من الاعطال لا يسبب أي
تلف للدائرة .

11 - 5 مكبرات ترانزستور التأثير المحلي

الانواع التي تستعمل بكثرة من ترانزستور التأثير — المحلي كـ مكبرات
خطه هو بوابة وصله ترانزستور التأثير المحلي ذات القناة السالبة والتي
سبق ان وصفت في الفصل التاسع .

والمكبرات الاساسية بوحدات ترانزستور التأثير المحلي ملتصقة الى
وحدات الترانزستور ثنائي القطب المتكامل هي كـ معاوقتها الداخلية [في
العادة حوالي مليون مـ او اوم او اكثر بالنسبة الى 12 kΩ في حالة النماذج
ثنائية القطب] . ويستخدم ترانزستور التأثير المحلي في النماذج التي
يعطى هذه الخاصية بدرجة معينة .

وبوصف شكل 11 - 7 النوع الشائع لدائرة مكبر ذات مصدر مشترك
تستخدم بوابه وصله ترانزستور التأثير المحلي ذات القناة السالبة وعلى
موال الاستفاد ، وكما سبق توضيحه من الفصل التاسع يستلزم الامر عند
التشغيل العادي لترانزستور التأثير المحلي ان تكون وصله البوابة الى
المصدر عكسيه التحيز . وفي هذه الدائرة ، يحصل على جهد التحيز
بواسطة مقاومة انحياز ذاتية ، توصل على التوالي مع الكترود المصدر



شكل 11 - 7 مكبر ذو مصدر مشترك يستخدم بوابة وصله ترانزستور التأثير المحلي ذات
القناة السالبة .

هذا وتقع القيمة الموسطه للجهد الناتج بين طرفى المقاومة R_s بين حرة من المولت و 2V او 3V طبقا لنوع ترانزستور التأثير المحالى . وكما وضح سابقا فى حالة الترانزستور ثنائى القطب . يقوم المكثف C_s بعمودت مكونات التيار المتردد الخارج من المصدر ويصح لجهد بين طرفى المقاومة R_s من نوع التيار المستمر . وهنا يسلط الجهد الناتج من شبكة مقاومات محرىء الجهد R_1 و R_2 عند النقطة X الى بوابة ترانزستور التأثير المحالى بواسطة المقاومة R_s . وتقل القيمة الموحه لهذا الجهد عن قيمة جهد الكترود مصدر ترانزستور التأثير المحالى ولهذا تصح وصلة البوابة عكسية الانحياز .

وبعمل الدائرة كما بلى ، تقلل لزيادة من جهد الاشارة من الانحياز العكسى المسلط على بوابة ترانزستور البشير المحالى . كما عيب فى الوقت نفسه زيادة لتيار البالوعة . وبالتالى يقل جهد البالوعة . اى ان المكبر يصح عاكسا للطور . وتقل قيمة كسب الجهد لهذا النوع من المكبرات بصفة عامة . كثيرا عن مكبر الترانزستور ثنائى القطب ، ويقع كسب الجهد فى حالة اللاحمل فى المدى من 5 الى 10 تقريبا . وبالتالى . كما فى حالة الترانزستور ثنائى لقطب ، يخصص كسب الجهد بطريقة حادة اذا اظهر المكثف C_s دائرة مفتوحة .

ومع ذلك ، ملاماترد الموضحة ما هى الا نسخة اخرى من المكبر التقاربى بالتيار المتردد . اذ يعمل المكثفات C_1 و C_2 كبنائط متعة لكل من جهد التيار المستمر واشارات التيار المتردد عند الترددات المنخفضة . ومن الممكن ان تستخدم فى هذه الدائرة قيم نمطية كاللتالى .

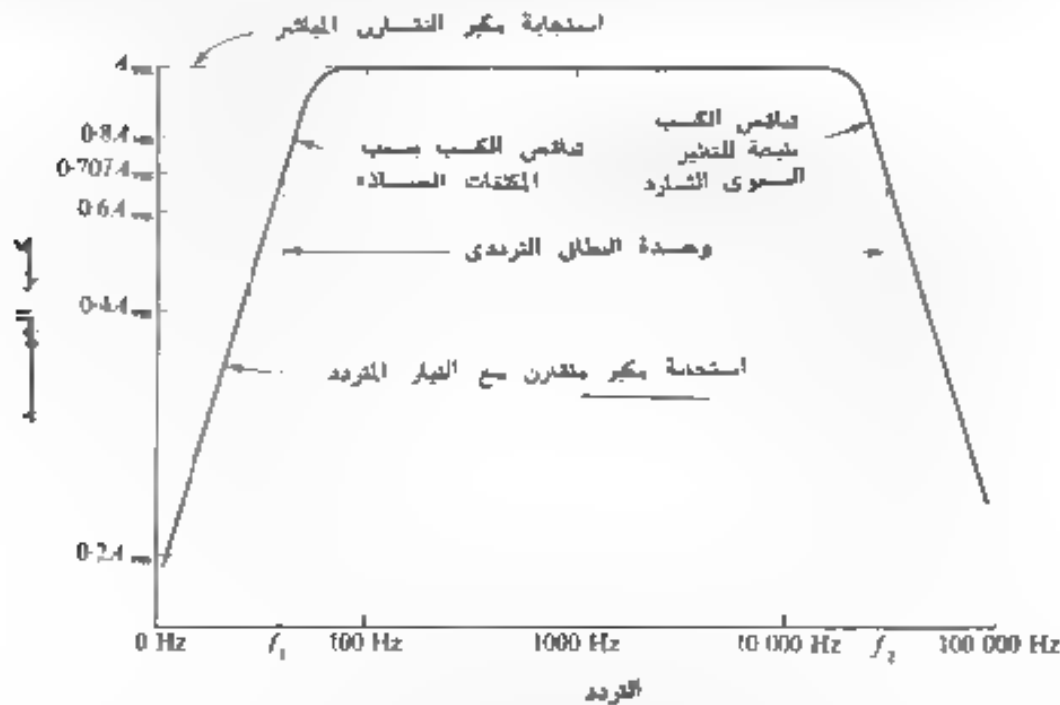
$V_{DD} = 18 \text{ V}$	$R_s = 10 \text{ k}\Omega$
$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$	$C_s = 5 \mu\text{F}$ or greater
$R_2 = 3.3 \text{ k}\Omega$	$C_1 = 47 \text{ nF}$
$R_3 = 1 \text{ M}\Omega$	$C_2 = 50 \mu\text{F}$ or greater
$R_D = 82 \text{ k}\Omega$	

١١ - ٦ عرض النطاق الترددى للمكبر

سبق ان وضحنا فى الباب السادس باختصار عرض النطاق الترددى لهما يتعلق بدوائر الرنين ، وسيحتص هذا الجزء معالجة عرض النطاق الترددى للمكبرات .

ان عرض النطاق الترددى للمكبر ما هو الا نطاق الترددات التى يعطى عندها المكبر كسبا يكاد ان يكون ثابت القيمة . وبوضح شكل ١١ - A الطريقة الشائعة لتحريف النطاق الترددى للمكبر . يعرف هذا المنحنى ، بمنحنى الاستجابة الترددى للمكبر ، ويبين كيف يتغير كسب الجهد مع التردد

أن معرفة معنى الاستجابة الترددية للكبير هي أمر حيوي ، لكي يتسنى فهم أداء المكبر في كل مداه الترددي . وبحصل من الطلة على هذه الحواص بفعليل إشارة تيار متردد بيد طرقي دخل المكبر ، وبدأ في ريادة تردد الأثره تدريجيا . من قيم منخفضة حتى تصل إلى قيمة مرتفعة جدا . وعند



شكل ١١ - أ معنى الاستجابة الترددية لمكبر

كل قيمة للمردد ، تدون قيمة ح.م.م. جهد الحرج وحسب قيمة كسب الجهد ويرسم المخطط بمعززة قيم الكسب والتردد . ومن الممكن أن يتم مثل هذه الامواع من الاختبارات على خط الإنتاج مباشرة باستخدام معدات أوتوماتيكية لترسم المخطبات إما على برسة اشعة الكتود للتدفقات [انظر الفصل السادس عشر] أو على ورق رسم بياني .

وسيلاحظ القارئ مقياس رسم غير عادي على كل من محوري الرسم السابق فمعد رسم هذه المنحنيات ، يرسم النتائج باستخدام مقياس رسم لوغاريتمي بحيث تمتد النتائج عند أدنى نهاية مدى التردد وتضغط النتائج عند أعلى نهاية المدى . وتبذل قيم الكسب المرسومة على المحور الراسي القيم العددية لكسب الجهد إلا أنه في التطبيق العملي ، يمثل كسب الجهد دائما بدلالة الديسيبل ، حيث كسب الجهد بالديسيبل = [القيم العددية لكسب الجهد] $20 \log_{10}$ فإذا كانت القيمة العددية لكسب الجهد هي 100 فإن الكسب بالديسيبل يكون $20 \times \log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$

ويشتر المحس المين بالخط المتلى في شكل ١١ - أ منحنى نمطي للمكبرات المتقارنة بالتيار المتردد والتي سبق وضمها . ويعرف عرض

النطاق الترددي لهذا النوع من المكبرات نطاق الترددات ، f_2 / f_1 ، والتي قيمته الجهد بينهما ما يساوي أو يزيد عن $0.707 A_{vm}$ ، حيث تمثل A_{vm} أكبر قيمة لكسب الجهد . هذا ولم يتم احتساب الرقم 0.707 بطريقة عفوية حيث انه يتمشى مع الحالة التي تساوى عندها كسب المقدرة [لا كسب الجهد] نصف أقصى قيمة ممكنة لها ، فإذا كانت $f_2 = 30 \text{ kHz}$ ، $f_1 = 40 \text{ Hz}$ مثلاً ، فإن عرض النطاق الترددي يعادل 29960 Hz والذي يمكن اعتباره من وجهة النظر الواقعية معادلاً لـ 30 kHz أي أنه يساوى بالتقريب f_2 ولقد عرّف الترددات f_1 و f_2 في المراجع العملية بعدة أسماء منها ترددات ركنية « راوية » ، ترددات قطع ، مقطعي الانهيار ، ومقطعي منتصف القدرة .

وبحذر الإشارة في هذا المحال إلى أسباب ظهور منحني الاستجابة للتردد بهذا الشكل . ولقد سبق أن أشرنا إلى سبب انخفاض كسب الجهد عند الترددات المنخفضة في محال نوصيح ميل المكثفات المانعة المسندة مع مكبرات التناقل بالمسار المردد . إذ يرداد مفاعلة المكثف المانعة عند انخفاض تردد الإشارة إلى النقطة التي تنص عندها جزءاً ملموساً من اشارتي الدخل والخرج . وهكذا يقلل مكثف الدخل المانع ، في هذه الحالة ، جزءاً من إشارة الدخل التي تسلط فعلياً على منطقة القاعدة [أو البوابة] للترانزستور ، مما يؤدي إلى انخفاض كل من جهد الخرج وكسب الجهد .

ونستطيع طائفة من المكبرات تسمى مكبرات التيار المستمر ، والتي نضم طوائف حثية من مكبرات التناقل والمكبرات القطاعية ، أن تكبر بالنسبة لجميع الترددات ابتداءً من التيار المستمر [تردد قيمته صفر] إلى تردد القطع العلوي لها . ويمتد منحني الاستجابة في شكل ١١ - ٨ بالخط المتقطع إلى الترددات بقيمة صفر يمثل هذا النوع من المكبرات .

هذا وترتبط إشارة الدخل مباشرة بدخل المرحلة الأولى لمكبرات التناقل المتكسر ويتم التوصيل مباشرة بين المراحل المتتالية .

ونعبر المكبرات التشغيلية التي ستوضح في الفصل الرابع عشر امثلة واقعية لمثل هذا النوع .

أما في المكبرات القطاعية ، من الإشارة المستمرة الداخلة تقطع إلى سلسلة من النبضات باستخدام مفتاح من مادة شبه موصلة ، والتي تحول بعدئذ إلى إشارة مترددة وتوصف هذه العملية في بعض الإحليل « بالتعريض » . وتكرر هذه الإشارة بواسطة مكبر تقارن بمردد وعند خروج المكبر القطاع يستخلص المصممة من الإشارة المترددة لتعطى إشارة مستمرة . وتستخدم المكبرات القطاعية بكثرة في تطبيقات أجهزة القياس حين يراد قياس كمية صغيرة جداً من الجهد .

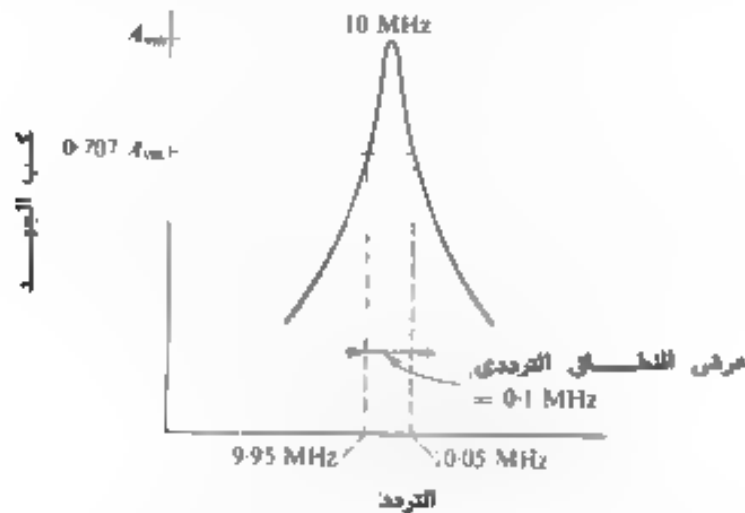
هذا ويرجع السبب في انخفاض كسب الجهد ، عند نهاية التردد المرتفع

لمحضى الاستجابة الترددي ، الى تأثير معيد لم تسبق مناقشته . فبظرا لان الاسلاك والكواب في دائره المكر تكون متصلة من هيكل المعدات ، فان كلا منهما يمتلك دائره تكون متلازية معه وتظهر بين اى منها وبين الهيكل ويعرف هذه المكثفات بالسعات الشاردة هذا ومن ضمن صفات اى مكثف ان معايله تقل بارتفاع التردد (تذكر $X_C = 1/(2\pi fC)$) فعند الترددات المرتفعة ، تقل معايله المكثفات الشاردة وتتناثر بالसार من المكر ، حتى تؤدي الى دائرة قصر كامله على حرج المكر عند الترددات العاليه جدا . ويؤدي هذا الى انخفاض مراد في كسب الجهد عند الترددات العاليه .

١١-٧ مكبر موالف

يعطى المكر الموالف قيمة كسب مرتفع على نطاق ضيق من الترددات وقيم كسب منخفضة جدا عند كل الترددات الاخرى .

تستخدم المكبرات الموالفه عادة في تطبيقات الترددات العاليه ، ويوضح شكل ١١-٩ محضى استجابته [يعطى] لمكر موالف عند تردد [اللاملكى] [راديو] ويحصل على عرض النطاق الترددي الضيق الموضح في الشكل (0.1 MHz عند تردد 10 MHz) باستخدام دوائر موالفه ذات معامل جودة Q مرتفع .



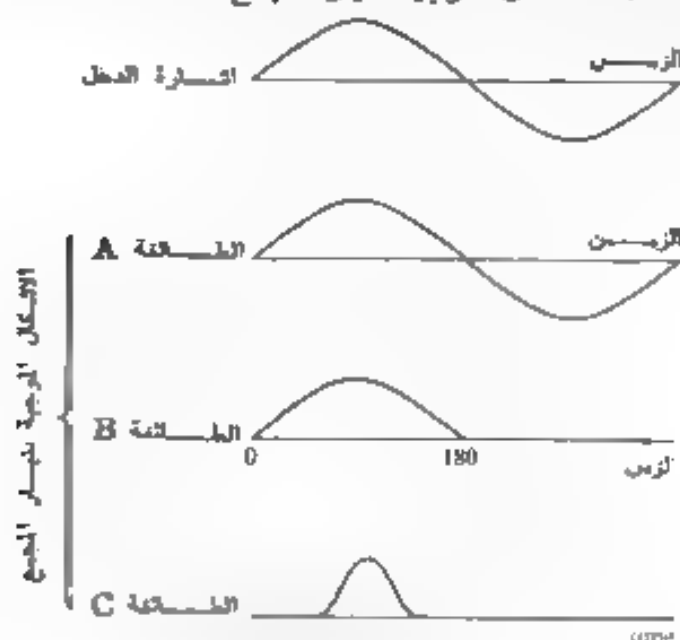
شكل ١١-٩ محضى الاستجابة الترددي لمكر موالف .

١١-٨ مكبرات القدرة

مكبرات القدرة هي المكبرات التي يكون الاعتماد الاول فيها للقدرة المعطاة للحمل باكبر كفاءة ممكنة [ومن الممكن ان يكون الحمل عبارة عن نقطة

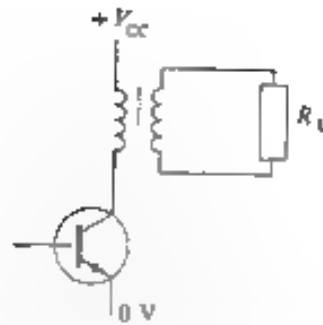
الكثروميكانيكية مثل الجهار أو فئس محرك كهربائى . ويكتسب الشكل الموجى للخرج من مكبرات القدرة فى بعض الحالات تشوها قليلا ، وتعتمد كمية التشويه المقبولة على نوع التطبيق .

وعند هذا الحد ، ربما يحدربنا مناقشة طوائف أو درجات تشغيل المكبر، على احدى الطرق المستخدمة لتقسيم عمل المكبرات تحت دورة الإشارة التى ينسب السار خلالها فى ترائنستور الجرج هى الفصل . وتوجد هناك ثلاثة طوائف احتمالية تعرف بالطائفة A والطائفة B والطائفة C ، ويوضح شكل ١١ - ١. الاشكال الموجية لتيار المجمع لكل منها .



شكل ١١ - ١. الاشكال الموجية لتيار المجمع فى مكبرات الطائفة A والطائفة B والطائفة C

على مكبرات الطائفة A ، يساوب التيار فى ترائنستور الجرج خلال فترة النبضة الكاملة لدورة النخل ، وينطاق أسلوب العمل فى هذه الحالة مع أسلوب مكبرات الجهد التى سبق توضيحها فى هذا الباب . ومن الجدير بالذكر أن كفاءة قدرة محولة بين نظام مصدر القدرة والحمل للمكبر من النوع الموضح فى شكل ١١ - ٦ عندما ما يحمل على أسلوب الطائفة A لا تتعدى 25% وتزداد كفاءة المكبر اذا تقارن الحمل مع الدائرة عن طريق محول كما هو مبين فى شكل ١١ - ١١ . وتكون قيمة كفاءة فى هذه الحالة 50% من الوجهة النظرية ول سوء الحظ يمثل محول الجرج فى مثل هذه الدوائر واحدا من المصادر الرئيسية لتشويه الإشارة ، ويؤدى الى أداء غير جيد فى كثير من مكبرات القدرة الرخيصة . ومن الناحية الواقعية، تقل ، قيم الكفاءة التى نحصل عليها بكثير عن هذه القيم .



شكل ١١ - ١١ محول متقارن مع الحمل .

أما في مكبر الطائفة B ، فإن استيار يساب في ترانزستور الحرج خلال نصف فترة الدندبة الكاملة لدورة الدخل [انظر شكل ١١ - ١٠] ويسمى أن نقرر بأن اكبر قيمة للكفاءة من الناحية النظرية تبلغ 78.5% في هذه الحالة . وتعمل معظم مكبرات قدره التردد السمي بأسلوب الطائفة B [انظر مكبرات دمع وهذب ميبا بعد . او بأسلوب يقترب من أسلوب هذه الطائفة ويضحي بحطية الكسب هنا على حسب الكفاءة .

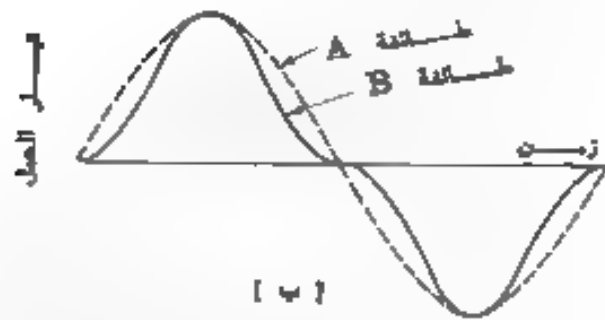
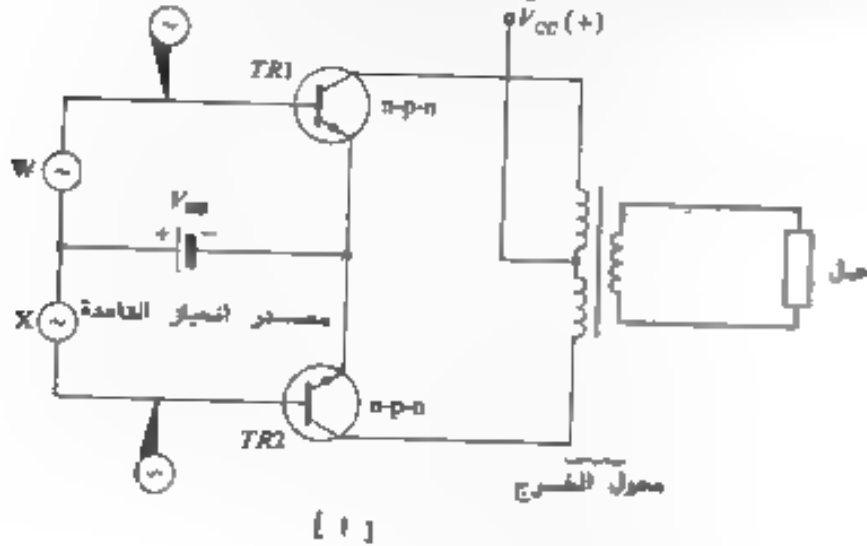
وفي مكبر الطائفة C ، بساب التيار في ترانزستور الحرج اثناء فترة تقل عن نصف موحه اشارة الدخل . ويكون كفاءة هذا النوع احسن من مكبرات الطائفة B ، ولكنها لا تستخدم في مكبرات القدرة للتردد السمي بسبب ما يحمله هذا النوع من تشوه غير محتمل ومع هذه الطائفة تستخدم بعض المكبرات دوائر موالفه مكوّنة من LC كما يقع في حالة المكبرات التي تعمل على ترددات اللاسلكى والفضيات .

مكبرات جنب - دمع - كنسخه لمحص الشكل الموحى لنبار المجمع للمكبر الذي يصل في الطائفة B [انظر شكل ١١ - ١٠] يتبين أنه ليس من الممى استخدام ترانزستور واحد فقط ، حيث أن شكل موحه التيار ان هو الا نسخة مترجمة من تقويم اشارة الدخل . وحتى يتسنى ازالة هذا العيب، نستخدم وحدتين من الترانزستور لترجما شكل موحه الحرج الى شكلها الصحيح . ويوضح شكل ١١ - ١٢ الترتيب الشائعة لدائرة تعمل في الطائفة B كمكبر دفعى - جنى ولبيست صورة هذه الدائرة بقتصرة على الطائفة B . واسا يمكن استخدامها بالاصافه مع وحدات ترانزستور محدّرة لكي تعمل في الطائفة A . ونسعى أن موحه الانتقاء الان الى نظام عمل دوائر طائفة B .

وقد يتذكر القارئ طبعا لخواص وحدات الترانزستور ان الامر يستلزم احيازاً آمابا بين القاعدة والباعث قبل أن يبدأ استيار بيار المجمع . ولهبته الظروف الملائمة للعمل مع مكبر الطائفة B ، يجب أن تساوى الـ . ق.د.ك لبطاريه احياز القاعدة في شكل ١١ - ١٠ ، قيمة جهد القطع للترانزستور بالصبط ، بحيث تصمح قيمة تيار السكون في كلنا وحدتى

الترانزستور مساوية للصفر . وبالتالي لا ينسحب التيار في أى من نصفى الملف الابتدائى للحول الى أن تسقط إشارة تدفع وحدة من وحدتى الترانزستور لكي تصبح أمامية الانحياز .

ولتشغيل المكر دفع - هذب امين في شكل ١١ - ١٢ ، ندعو الحاجة الى اثنتى بطل X و W وتصاد كل إشارة الإشارة الأخرى ، [لتعاكسهما] كما هو موضح بالشكل ،



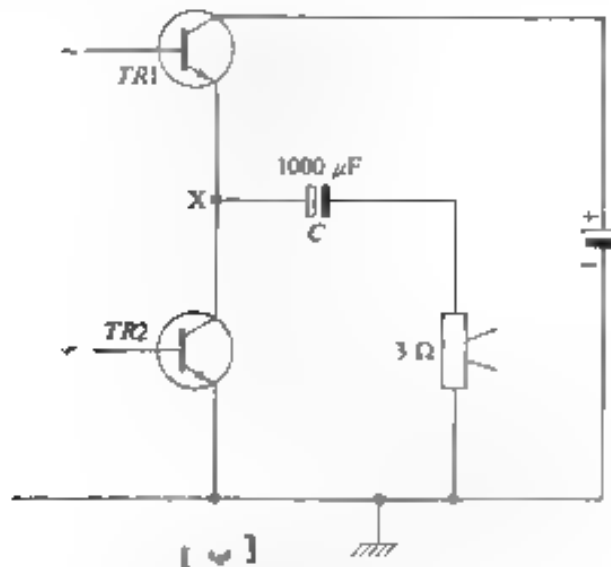
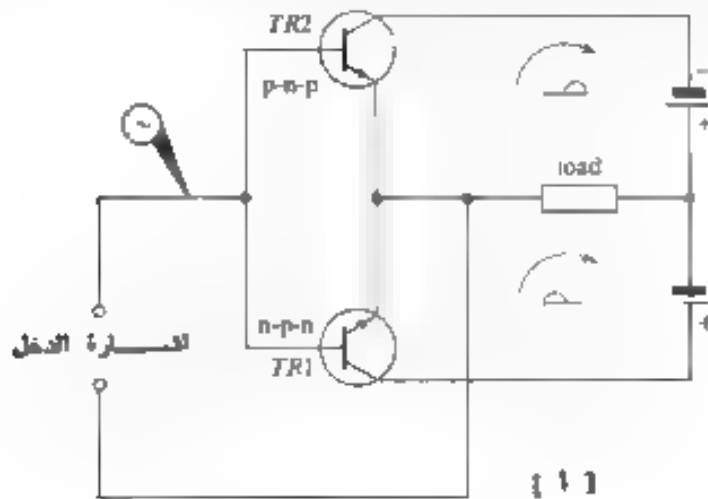
شكل ١١ - ١٢ فكرة عمل مكبرات دفع وجذب [ب] الشكل الموجية تيار العمل

ويمكن الحصول عليهما من الملف الثانوى لحول ذى نقطة تفرع متوسطة او من دائرة شطر الطور الالكترونية هذا ويسلط جهد موجب على قاعدة الترانزستور ، TR_1 لتصبح موصلة خلال النصف الاول من دورة إشارة الدخل W ، وتسمح للتيار أيضا في الحمل [حيث أن جهدا سالبا يسلط على قاعدة الترانزستور TR_2 في نفس الفترة الزمنية ، فانها تصبح في حالة قطع ، وبالتالي لا ينسحب أى تيار في النصف السفلى للملف الابتدائى لحول الخرج خلال هذه الفترة .

ويعكس الحال خلال النصف الثانى لدورة كل من موجتى الدخل أى أن

TR1 يصبح في حالة قطع ويصبح TR2 في حالة توصيل . وهكذا ينساب التيار في النصف السفلي للملف الابتدائي ذو نقطة التفرع الموصلة لحول الحرج ولكنه لا ينساب في النصف العلوي . ويؤدي ذلك الى تأثير عكسي بالنسبة لاتجاه التيار المنساب خلال الحمل . هذا وتكرر العملية السابقة خلال كل دورة من اشارة موجة الدخل ، وبهذه الطريقة ، يمثل الشكل الموجي للتيار المنساب خلال الحمل مع اشارة الدخل .

ولسوء الحظ ، تتحني الخواص التي تربط تيار المجمع بمعهد الدخل للترانزستور شائي القطب قرب نقطة القطع . ويؤدي هذا الى تأثير على مكبر الطائفة اذ يشوه المكنر الشكل الموجي عند المنطقة التي تصبح قيمة التيار عندها مساوية للصفر . وفي شكل ١١ - ١٢ [ب] يوضح هذا التأثير بالنسبة للشكل الموجي . ويعرب هذا النوع من التشوه بالتشوه المفرقي [المشترك] وتدعو احدى الطرق للاقلال من قيمة هذا التشوه [الى



شكل ١١ - ١٢ الدوائر الانسية لمرحلة خرج التردد السمي بدون محول

زيادة قيمة جهد الانحياز للقاعدة V_{BB} ، بحيث يعمل المكتر مصفة جزئية في كل من الطائمتين A و B . وينسب هذا الأسلوب من العمل للطائفة AB .

فإذا كان جهد انحياز القاعدة كبيرا بالدرجة الكافية ، نستطيع مكبرات الدفع — جذب أن تعمل في الطائفة A .

مراحل خرج قدرة بدون محول :

من الأفضل نخب تصميم المكترات باستخدام المحولات حينما يكون ذلك ممكنا والسبب هو أنها عالية الكفاءة وكبيرة الحجم وتسبب تشوها للإشارة . ويوضح شكل ١١ — ١٣ دائرتين أساسيتين لمرحلتى خرج قدرة بدون محول .

ونستخدم الدائرة التى في شكل ١١ — ١٣ [أ] ترانزستور سى — م — سى ، وترانزستور م — سى — م لهما خواص متماثلة . وتوصف هذه الأنواع من أزواج الترانزستور بأن لها تماثل متتام . وتسلط إشارة الدخل المشترك على كل من مقطعى القاعدة لوحدتى الترانزستور ، ويوصل ترانزستور واحد فقط خلال كل نصف دورة لوجة الدخل . فيصبح الترانزستور TR1 موصلا خلال نصف الدورة الموجب ، وينسب التيار خلال الحمل من الشمال إلى اليمين . ويوصل الترانزستور TR2 خلال نصف الدورة السالب لإشارة الدخل ويعكس اتجاه تيار الحمل .

ويوضح شكل ١١ — ١٣ [ب] نوعا شائعا لدائرة الخرج ، يستخدم مصدر قدرة واحد مع وحدتى ترانزستور من نفس النوع . وتعمل هذه الدائرة في الطائفة AB بحيث تلح قيمة جهد توصيلة الباعث المشترك حوالى نصف قيمة مقدار جهد المصدر . هذا وتولد دائرة الكترونية اثارتين متضادتين [متعاكستى الطور] وتسلط الاثارتان على قاعدتى وحدتى الترانزستور ، وينسب من إشارة الدخل توصيلا أكثر شدة لوحدة من وحدتى الترانزستور وتوصيل أقل شدة للوحدة الأخرى . وتكون النتيجة أن القطبية اللحظية لنقطة X في شكل ١١ — ١٣ [ب] تتبع تغيرات إشارة الدخل . وينتقل هذا التعبير في الجهد خلال المكثف المعلق C إلى الحمل .

١١-٩ الترانزستور كمفتاح

المفتاح الإلكتروني الصفات الآتية :

[أ] عندما يكون مفتوحا OFF ، لا ينسب خلاله تيار ويظهر جهد المصدر بالكابل بين طرفيه .

[ب] عندما يكون مغلقا ON ، ينسب خلاله تيار ذو قيمة كبيرة ويكون فرق الجهد بين طرفى المفتاح من الناحية الواقعية مساويا للصفر .

تستخدم كل من وحدتي الترانزستور الثنائية القطب وترانزستور التأثير — المجالي كملاتيح الكترونية ، ولكن نظرا لبعض الاعتبارات . فأن خواص هاتين الوحدتين من الترانزستور لا تحقق المثالية المذكورة مسبقا .

ولتوضيح هذه النقطة، دعنا نأخذ في الاعتبار المنحنيات لميزة لخرج الباعث المشترك المصممة في شكل ١١ — ١٤ . يقال أن الترانزستور معلق ON أو تشبع عندما يعمل عند النقطة B من المنحنيات المبينة . وفي هذه الحالة ، يمر بوحدة الترانزستور تيار ذو قيمة كبيرة (مثلا 10 mA) وتصبح قيمة الجهد بين طرفيه (المجمع والباعث) عند أقل قيمة لها في حدود 0.1V إلى 0.3V وعندما يعمل الترانزستور بأسلوب الباعث المشترك ، يصبح للترانزستور مقاومة ذات قيمة معينة بصفة دائمة ويظهر بين طرفيه جهد ذو قيمة صغيرة . هذا ويقال أن الترانزستور الذي يعمل عند النقطة B في القاع ، حيث يصل جهد محبسه إلى أقل قيمة ، ويصبح الترانزستور في حالة عدم توصيل OFF [في حالة قطع] عندما تقل قيمة تيار القاعدة إلى الصفر ، وفي هذه الحالة ، يقترب الترانزستور من حالة السماح المثالي ، حيث يمكن أن تقع قيمة تيار التسرب خلال الترانزستور في حدود مصمة نانو أمبير [1 nA = 10⁻⁹ A] .

وعند استخدام الترانزستور كمفتاح ، فإنه يصبح إما في حالة قطع أو في حالة توصيل طول الوقت ويمكن أن يستغرق الزمن الذي يأخذه الترانزستور لينتقل من حالة إلى أخرى حوالي 20 نانو ثانية تقريبا

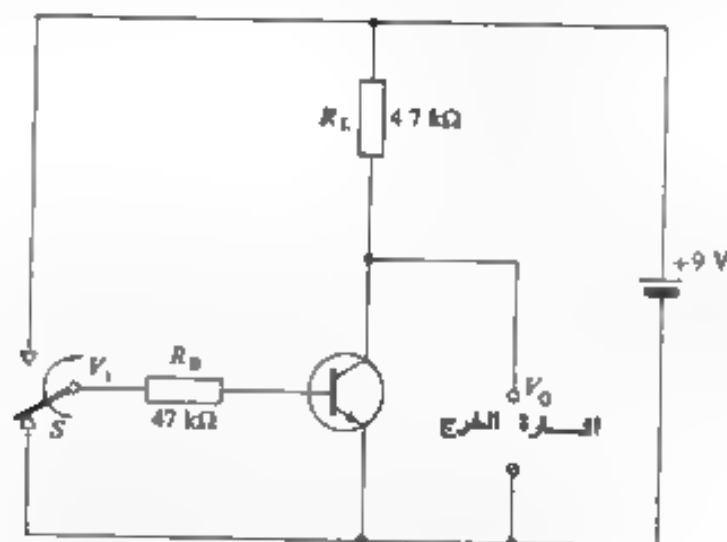


شكل ١١ — ١٤ المنحنيات الموضحة على خواص الفرج ثنائي القطب المستخدمة في عمليات القطع والتوصيل

١٠ — ١١ الدائرة الأساسية لمفتاح ترانزستور

يوضح شكل ١١ — ١٥ دائرة المفتاح الإلكتروني البدائي . ففي هذه الحالة ، تكون قيمة مقاومة القاعدة R_B منخفضة إذا قوربت بقيمتها 330 kΩ المستخدمة في حالة المكنر الحظي [شكل ١١ — ٣] . وكما

سنرى فيما يلي ، اخبرت القيمة المتخذة للمقاومة $47\text{ k}\Omega$ في شكل ١١ - ١٥ للتأكد من أن الترانزستور خلال عمله كمفتاح يستطيع أن يقطع بالكامل .



شكل ١١ - ١٥ الدائرة الأساسية للمفتاح الإلكتروني (بوابة لاسم) .

ولنأخذ الآن في الاعتبار عمل الدائرة عند ما يكون فصل المفتاح S في الوضع المبين . ففي هذه الحالة ، تكون قيمة كل من V_1 و تيار القاعدة مساوية للصفر . ففي أسلوب العمل هذا ، يصبح الترانزستور قاطعاً [فيما ينظر العمل عند النقطة A من منحنى الخواص في شكل (١١ - ١٤) ويكون تيار المجمع مساوياً للصفر . وفي حالة اللاحمل بين طرفي الخرج ، لا ينساب أي تيار خلال المقاومة R_1 ولا يتسوى جهد الخرج مع قيمة جهد المصدر [+ 9V]

وعند تحريك فصل المفتاح S إلى وضعه العلوي ، ينساب التيار في قاعدة الترانزستور خلال المقاومة R_B على أن تكون القيمة المختارة للمقاومة R_B صغيرة صفراً كافيًا . وللتأكد من عودة الترانزستور إلى التفتح ، في هذه الحالة ، فإن قيمة جهد الخرج تقع في المدى من 0.1 V إلى 0.3V ويمكن استخدام العلاقات الآتية ، كإرشاد تقريبي لتقييم المكونات المستخدمة في الدائرة .

$$\frac{\text{قيمة جهد المصدر}}{\text{كبر قيمة تيار المجمع}} = R_1$$

$$R_1 = R_B \times \text{قيمة كسب التيار للترانزستور}$$

١١ - ١١ الدلالة الثنائية

إن النظام الثنائي ما هو إلا عبارة عن نظام ذو مستويين أو نظام ذي طينيين ، حيث يتحدد خرج إشارة كل عنصر في هذا النظام ، بكل تأكيد ، حالة واحدة فقط من حالتين متميزتين فيتخذ الرقم في نظام الأعداد الثنائية قيمة واحدة من قيمتين إما الصفر (0) أو الوحدة (1) . وفي علم الإلكترونيات ، وسيمثل دائما كلمة ببت bit وهي احتمال كلمتي رقم ثنائي في اللغة الانجليزية binary digit ، عند وصف كيفية تشغيل النظام المنطقية .

وبما أن جهد الخرج من دائرة القطع أو التوصيل الإلكترونية إما أن يكون صفرا أو يكون له جهد موجب [أنظر شكل ١١ - ١٥] ، فله من الممكن اعتبارها كدائرة تعمل بالرموز الاصطلاحية الثنائية . وأنه لا مبال في التطبيق أن يوصف جهد الخرج بالمنطق «0» عندما تكون قيمة لعملية تساوي الصفر ، بينما يوصف بالمنطق «1» عندما يتخذ قيمة عالية . ويعرف هذا الوصف بالدلالة المنطقية الموجبة .

علما بأن القيمة الفعلية لجهد الخرج من الدائرة نفسها تصبح قليلة المعدي ، حيث يمكن وصف نطاق من الجهد في المدى من 0V إلى 0.5V مثلا بالمنطق «0» بينما يوصف النطاق من الجهد في المدى من 4.5V إلى 5V مثلا بالمنطق «1» . ويقع جهد الخرج في واحد من هذين النطاقين عند التشغيل ويتحدد له قيمة بين هذين المستويين المنطقيين في فترة الزمن القصيرة جدا عند الانتقال من حالة إلى حالة أخرى .

١١ - ١٢ بوابة اللاسماح المنطقية

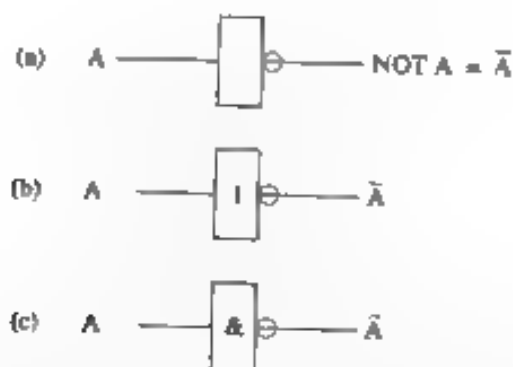
يعرف عنصر الدائرة الثنائية أو العنصر المنطقي ، كما يسمى في بعض الأحيان بالبوابة الإلكترونية وبرجع السبب في هذه التسمية إلى العنصر المنطقي الذي إما أن يكون مغنوخا ليمسح بالنسيب المطلوبات ، أو يمكن أن يكون مغنوخا لمعها . ويعطى لكل بوابة على حدة اسم معين يمكن ، لأقصى حد ممكن ، أن يصف الوظيفة التي تؤديها . مواحدة من هذه البوابات مثلا هي بوابة اللاسماح NOT .

وكما عرض في الفصل ١١ - ١١ تستطيع كمية ثنائية أو متغير ثنائي أن تتخذ قيمة واحدة فقط من قيمتين عند أية لحظة زمن . وحيث أن الكمية الثنائية تستطيع أن تتخذ إما القيمة «1» أو القيمة «0» فإنها تكون «1» NOT عندما تتخذ القيمة «0» وتكون «0» NOT عندما تتخذ القيمة «1» وتوصف أية دائرة إلكترونية ، بخط دخل واحد له إشارة خرج تتخذ قيمة منطقية بعكس إشارة الدخل ، سواء لاسما- NOT . وقد اشتق هذا الاسم من كل مسطرة من مطلق الحقيقة أن إشارة الخرج NOT تساوي القيمة

المنطقية لاشارة الدخل . وفي مثل هذه الدوائر ، يقال ان الحرج هو المتغير المنطقي او العاكس المنطقي لاشارة الدخل ويوضح شكل ١١ - ١٦ الرموز التقليدية لمثل هذا النوع من دوائر البوابات وتمثل عملية العاكس المنطقي ببساطة . يوضح شرطه افضيه على الاشارة المطلقة على دخل البوابة .
وهكذا

$$A = \text{NOT } A = \text{الحرج}$$

ويوضح شكل ١١ - ١٥ دائرة في مدائة NOT ، حيث يكافئ الجهد V_0 الاشارة A .



شكل ١١ - ١٦ دوائر الرموز المنطقية لبوابة NOT .

وحيث ان شكل ١١ - ١٥ يحتوي على مقالومات وثرانزستور فقط ، فانها توصف بموايه الاسماء NOT المنطقية من الثرانزستور والمقاوم RTL وتعتبر مجموعة البوابات المنطقية من الثرانزستور والمقاوم هي اول الدوائر التي صنعت في شكل دوائر متكاملة (انظر ايضا الباب الثاني عشر) . وقد حل محل هذا النوع دوائر اخرى اكثر تعقيدا مستوصف فيما بعد في هذا الباب .

١١ - ١٣ بوابة و (AND) وبوابة او (OR)

تتخذ بوابة « و » (AND) اكثر من خط دخل واحد وتنتج اشارة المنطق «1» عند طرفي خرجها اذا ، واذا فقط ، كان المنطق «1» مسلطا على كل خط من خطوط الدخل في نفس الوقت . ويشترك اسم البوابة من العبارة كما يلي . فلنفرض ان للبوابة اربعة خطوط دخل A و B و C و D كما هو موضح في شكل ١١ - ١٧ [١] ، لذا يصبح الخرج من البوابة المنطقية «1» اذا ، واذا فقط كتبت جميع الخطوط A AND B AND C AND D . اخذنا بـ اشارة المنطق 1 في نفس الوقت . فلذا سلط المنطق «0» على أي دخل منها ، فان خرج البوابة يصبح أيضا «0» .



شكل ١١ - ١٧ : بين [ا] و [ب] الرموز المستخدمة لبوابات AND و [ج] و [د] الرموز المستخدمة لبوابات OR

ويمثل عمله البوابة المنطقية AND بكتابة قائمة لمغيرات الدخل ، على أن تفصل كل منهما عن الأخرى بقطعة « . » كما يلي :

$$\text{الخرج من البوابة} = A.B.C.D$$

ولبوابة OR أكثر من خط واحد للدخل ، لكنها تولد المنطق « 1 » عند خرجها كلما تم تسليط المنطق « 1 » على واحد أو أكثر من خطوط دخلها .
لنأخذ الآن في الاعتبار البوابة OR في شكل ١١ - ١٧ [د] . أيها الموليد إشارة خرج بالمنطق « 1 » إذا سلط المنطق « 1 » على $A \text{ OR } B \text{ OR } C \text{ OR } D$.
فلذا تم تغطية جميع خطوط الدخل بإشارة المنطق « 0 » في نفس الوقت ، فإن خرج البوابة يصبح « 0 » فقط . وفي إحدى الطرق المستخدمة لتمثيل عبارة OR نكتب قائمة بمتغيرات الدخل ، على أن تفصل كل منها عن الأخرى بعلامة زائد + كما يلي :

$$\text{الخرج من البوابة} = A + B + C + D$$

١١ - ١٤ بيسوابتي NAND و NOR

أر سمة الإشكال العمليه للبوابات الالكترونية لتمثل في أنها تهيء ، بطريقة تكاد تكون ثابته ، دالة NOT أو النعكاس المنطقي في صورة أو أخرى .

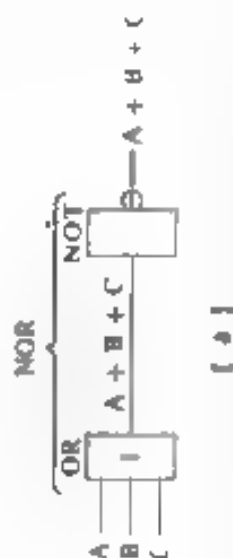
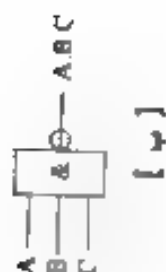
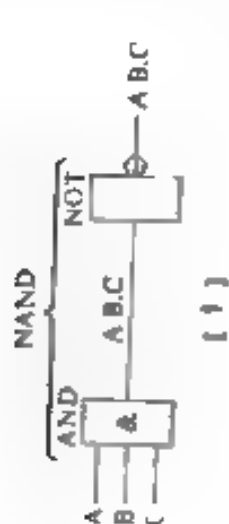
فياتحاد بوابة AND مع بوابة NOT بالطريقة الموضحة في شكل ١١ - ١٨ [ا] يصبح خرج هذه المجموعة هو دالة NOT للخرج من بوابة AND . وتعرف الشبكة الناتجة ببوابة NAND : ويوضح شكل ١١ - ١٨ [ب] و [د] الرموز التقليدية لهذه الدائرة . وحيث أن خرج هذه البوابة هو $\text{NOT } (A \text{ AND } B \text{ AND } C)$ فلها تمثيل بالتعبير الآتي :

$$\text{الخرج من بوابة} = A.B.C = \text{NAND}$$

تتولد الدالة المبطنية المعروفة بدالة NOR بتحتل بوابة OR مع NOT بالطريقة الموصحة في شكل ١١ - ١٨ [د] . ويصبح الخارج من البوابة هو دالة NOT للخارج من بوابة OR ، وهكذا ،

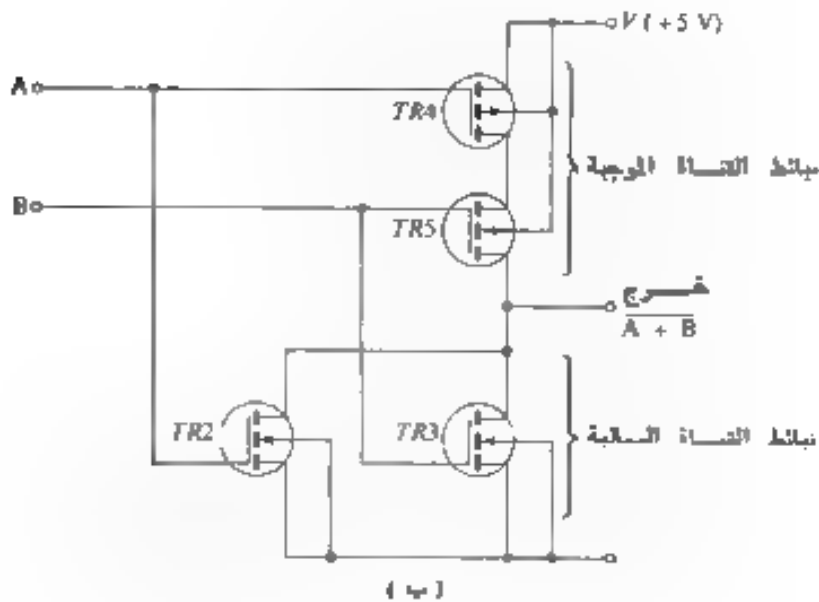
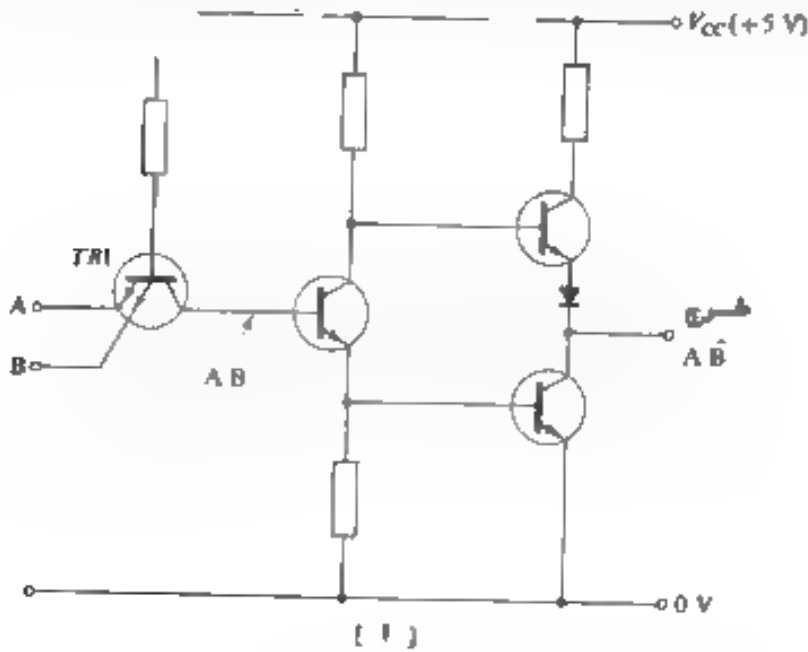
$$A + B + C = \text{NOR}$$

ويوضح شكل ١١ - ١٨ [هـ] و [و] رموز دائرة بوابة NOR .



شكل ١١ - ١٨ ، فكرة بوابة NAND ومبينة في [١] مع رموز دالتها في [ب] و [هـ] ولتلك دالة NOR الأساسية بواسطة الدائرة [د] ، ويوضح [هـ] و [و] رموز هذه الدائرة .

ولكى نبين درجة تعقد دوائر المنطق الالكترونية الحديثة ، نقصد اظهر الرسمين [١] ، [ب] من شكل ١١ - ١٩ توصيلات دائرتي تحليل لدائتي NAND و NOR على التوالي . وتعتبر دائرة NAND بالرسم [١] جزءاً من مجموعة منطق ترانزستور - ترانزستور (TTL) ، والتي تستخدم بكثرة في التجارة والصناعة والمعدات المنزلية . وتتخذ هذه المجموعة المنطقية سمة لتمثل في تعدد البوابات للترانزستور TR1 . وتولد هذه المنطقية عند معيها الدالة AND المطلقة لاسمات الدخل . وبقيّة الدائرة هي بوابة NOT عالية السرعة . وتعتبر البوابة NOT ، بالرسم [ب] ،



شكل ١١ - ١٩ [١] ترانزستور ثنائي القطب من مجموعة منطق ترانزستور .

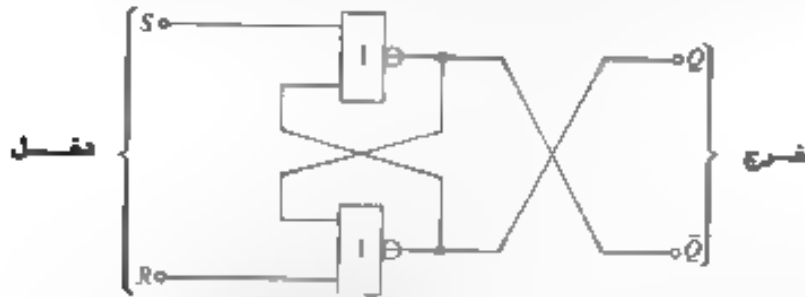
ترانسستور بوابة NAND أي TTL NAND وab بوابة NOR لأشياء
الأكس معدنية المتتامة أي CMOS NOR .

مثالا للمجموعة المنطقية لأشياء الموصلات الأكسي معدنية المتتامة التي
تستخدم كلا من القمانين الموحدة والسلسلة لوححدات ترانزستور أسماء
الموصلات الأكسي معدنية . وتستخدم هذه البوابات بكثرة في الحسابات
الإلكترونية المتتامة .

١١ - ١٥ شبكة الذاكرة للترانزستور (نظام S-R)

يقال ان النقطية لها « ذاكرة » اذا احتفظت باخر امر اعطى لها . فالقاطع
النفقائي على الخط مباشره يعتبر مثالا بسيط لنقطية كهربائية لها ذاكرة .
فالمصط على زر البدء تؤدي الى قفل القاطع النفقائي ، موصول مصدر القدرة
للحمل وعندئذ يتذكر القاطع النفقائي الحقيقة القائلة بان آخر امر قد صدر
كلى « البدء » ولا يفصل مصدر القدرة من الحمل الا عند ضغط زر « التوليف »
مرة اخرى ، يتذكر القاطع آخر امر اعطى له بالتوقف ، فلا يعيدى الحمل
بقدره اخرى عند تصيب الزر .

ويمكن تكوين دائرة ذاكرة منطقية من الدوائر الاساسية بالحواس التي
سبق ذكرها باستخدام وصلة صليبية من بوابتي NOR بالكتابة الموصلة
في شكل ١١ - ٢٠ هنا يكافئ خط الدخل S [الوضع Q - للحظ | زر
« البدء » للقاطع النفقائي ، وينظر خط الدخل R [اعاده الوضع Q -
للحظ | زر « التوقف » للقاطع . وتحتلف هذه الدائرة عن اساطع النفقائي
في ان لها خطي خرج متغيرين من الذاكرة [.



شكل ١١ - ٢٠ دائرة ذاكرة اساسة S-R في نظام نفقائي الاستقرار

وهنا بالرسم الحرج المعتاد او الحرج Q والخرج Q (NOT Q) وهو المضم
المطقي لاشارة الحرج Q . وبذلك يصبح $Q = 1$ عندما تكون $Q = 0$
والعكس بالعكس .

ويمكن شرح عمل الدائرة باختصار كما يلي : اذا تم تسليط اشارة منطق
« 1 » على الخط S [عند هذه اللحظة $R = 0$] ، فلن خرج الخط Q

يحول الى «1» او يوضع عند مستوى المنطق «1» . ويستمر الاحتفاظ بهذه الحالة بعد ان تستقر الإشارة المسلطة على الخط S- الى الصفر . ونحول لإشارة خرج الخط Q او نعاد الى المنطق «0» بتسليط إشارة منطقته 1 على الخط R . [عند هذه اللحظة $S = 0$] .

ويشار الى الفوائر بالحواس السابقة بفوائر المطلق ، لان تسليط إشارة تحكم واحدة تؤدي الى « قفز » الخرج من حالة الى أخرى ، ويؤدي تسليط إشارة التحكم الثتية الى قفزة أخرى مرتدة للوضع الاصلى .

ويمكن مالمثل تركيب البطاطات من النوع الذى سبق وصفه من بوابات
NAND

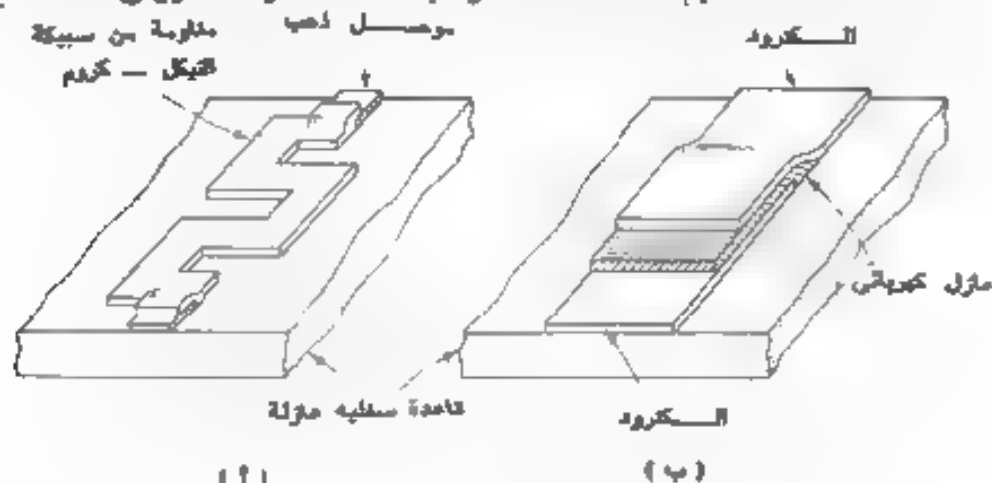
الفصل الثاني عشر

الالكترونيات الدقيقة والدوائر التكاملية

أدى التقدم في تصغير الدوائر إلى تحسينات في محول المعدات مع خفض في التكاليف ، والدوائر الدقيقة ، ببساطة ، هي تجميع مصغر جدا للوحدات الالكترونية ، علما بأن أكثر نوعين شائعين يعرفان بدوائر المشابكية (film) والدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة . ويرجع إلى النوع الأخير ببساطة كدوائر تكاملية (ICs) .

١٢-١ الدوائر المشابكية

تصنع الدائرة المشابكية بترسيب أغشية من المواد الموصلة على سطح عازل أو طبقة سفلية . ولقد ورد ذكر الدوائر المشابكية لأول مرة في الفصل الثاني فيما يتعلق بالمقاومات الثابتة . وتصنف الدوائر المشابكية إما إلى غشاء سميك أو غشاء رقيق تبعاً لتكنيك الصناعة المتبع . وفي أي من الحالتين فالغشاء رقيق طبقاً لأي من المواصفات المتبعة ويوضح شكل ١٢-١ (أ) تركيب دائرة مقاومة غشائية . وقد تكون هذه المقاومة واحدة من عدة مقاومات يمكن أن ترسب على قاعدة سفلية بمقاس واحد مستطير مربع أو أقل . ومن سمات هذا النوع من المقاومات إمكانية تطبيقها ميكانيكياً خلال مرحلة التصنيع لتهيئة قيم دقيقة للمقاومات . ويوضح شكل ١٢-١ (ب) النموذج الذي يمكن تصنيعه لكثافة عالية منخفضة . وتضع ملفات الحبيبات ذات القيم المحددة بترسيب مسبار حلزوني مسطح



شكل ١٢-١ مكونات الدائرة المشابكية (أ) مسبار و (ب) مكثف

من مادة موصلة فوق سطح القاعدة السلبية (وعموما ، عندما ندمو الحاجة لمكثفات أو سلفات بقيمة عالية فمن الأفضل التوصل اليها باستخدام المكثفات القياسية التي توصل خارجيا للدائرة العشوائية .

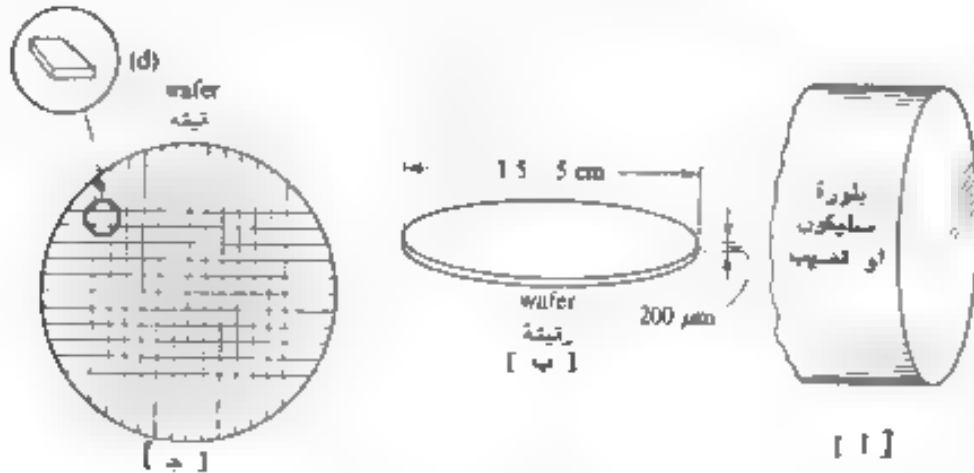
ومن الممكن تصنيع وحدات على شكل دائرة ترانزستور النانير - المجلى في شكل عشوائي .

١٢ - ٢ الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة

تصنع جميع الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة من مادة السليكون حيث ان حواملها تعتبر لفصل ما يتلأم مع عمليات تصنيع الدوائر التكاملية . وبمعى عبارة " قطعة واحدة " بسلطه ان الدائرة التكاملية مصنوعة من بلورة واحدة . سيوضح فيما يلى عملية الانقاج الاساسية .

اولا . تحفر السليكا (الرمل بصفه عامة) الرسليكون نقي . ومنها تنمو بلورة اسطوانية لها الامعاد المبطية التالية . الطول 30 cm (12.25 in) والقطر يمكن ان يصل الى 5 cm (2 in) . تقطع بعد ذلك اسطوانة السليكون بواسطة مشمار ماسى [المستخدم لقطع الزجاج] لتعطى عددا كبيرا من الرقائق الاسطوانية ، والتي يصبح سمكها بعد الصقل حوالى 200 µm (0.008 in) ويوضح شكل ١٢ - ٢ (ا) و (ب) هذه العملية .

شريحة او رقبة



شكل ١٢ - ٢ العمليات المتبعة في تصنيع الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة .

وبعد ان تكون رقيقة السليكون قد تعرضت لعدة عمليات موضح فيما يلى ، فانها تحوى عددا كبيرا من الدوائر المفردة . ومن الممكن ان يصنع المئات الطبقى لهذه الدوائر صغيرا جدا ، حيث يبلغ طول صلح مربعات بعضها جزءا من المليمتر . وللفصل الدوائر المفردة ، تقسم الشريحة [الرقيقة] الى شريحتين او رقائق بواسطة عملية تماثل عملية قطع الزجاج . ويوضح الرسملى (ج) و (د) من شكل ١٢ - ٢ هذه العملية .

معرف طراز الدائرة التكاملية التي تنتج بالطريقة المبينة على أنها الدائرة التكاملية الفوتية الترتيب المنسطة [الفوتية الترتيب برحلة لكلمة epitaxial الاطيريه والمشتقة من البعة اليوانية ، والفوتية الترتيب المنسطة تملئ في الدائرة التكامليه قد رتب فوق سطح مسط [.

١٢-٢ صنع الدائرة المتكاملة ثنائية القطب

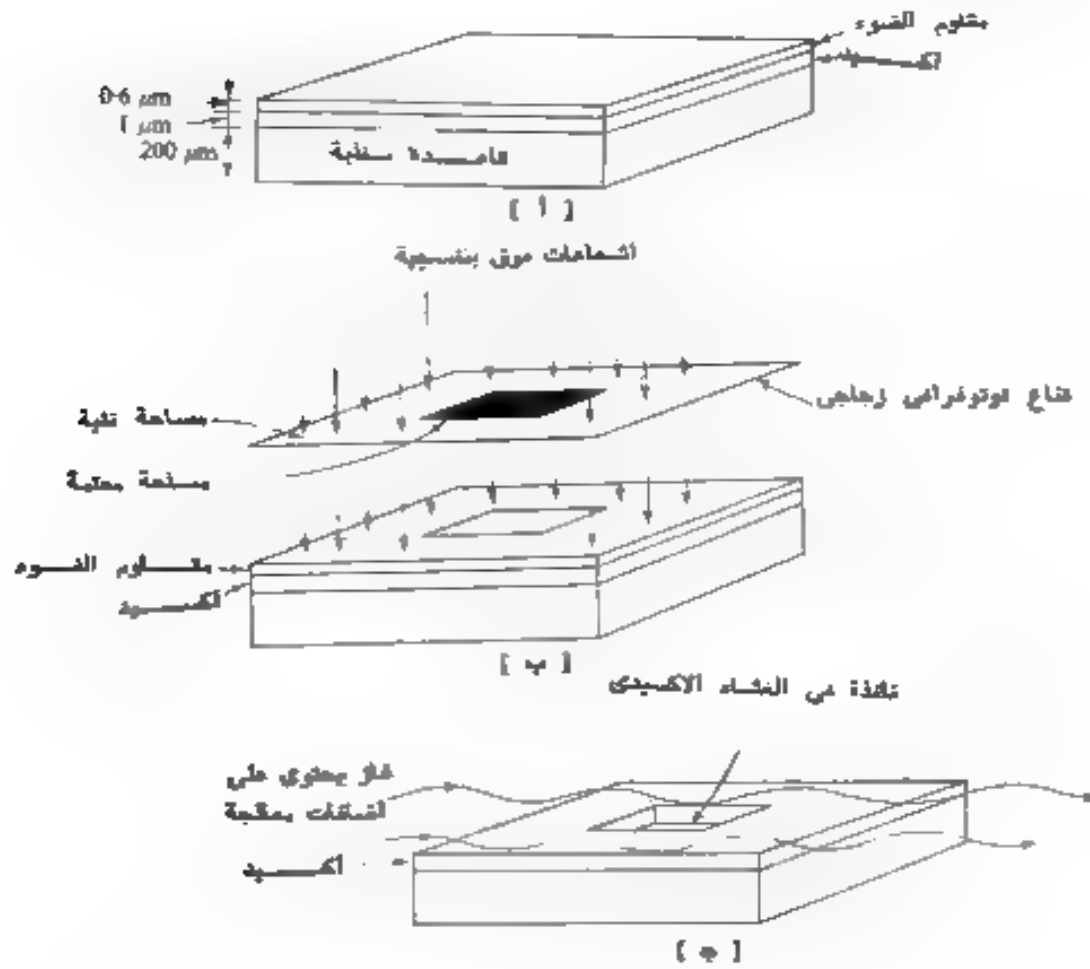
سنأخذ في الاعتبار الآن كيف يمكن تركيب الدائرة المبينة في شكل ١٢-٢ [١] على صورة دائرة تكاملية ، اذ يمكن ان يصبح الشحكة المبينة جزءا من مكرر خطي او جزءا من دائرة مفتاح . وتظهر الدائرة التكاملية بعد تكميلها ، كما هو موضح في شكل ١٢-٢ [ب] ومقارن اجمالي للترانزستور مبلغ في العادة $100 \mu m$ (0.004 in) وستلخص الخطوات المبينة عليها هذه العملية كما يلي :

طبقة من n^+ النقية : نستخدم شريحة السليكون او الرقيقة المصنعة في العملية الاسدائية كتقاعدة سفلية ليركب عليها الدائرة كلها . ومن الممكن ان تؤدي المقاومة النوعية ، لمادة القاعدة السفلية ، ذات القيمة المرتفعة حقا ، الى عدم ملائمة الترانزستور المصنع موقعا للعمل كنسبة قطع وبوصيل ، [مباح ، والنسبة على هذه الظاهرة ، ستشعر طبقة نقية من مادة شبه موصله نوع من + ذات موصلية مرتفعة من القاعدة السفلية عند نقطة على الشريحة تقع أسفل مكان الترانزستور الاخير مباشرة . وللمادة التي من النوع من + هي احدى المواد التي تريد قيمه موصليتها عن موصلية المادة التقليدية من النوع من - . سيوضح فيما يلي عملية الانتشار تحت غوايس هما الانبات الاكسیدی والقناع الضوئي والانتشار . وهو يباين مبقة عالية عملية الانتشار المستخدمة في تركيب باقى الدائرة وسبب مبقة الطبقة النقية بهذا الاسم هو أنها تحفز أسفل سطح الدائرة .

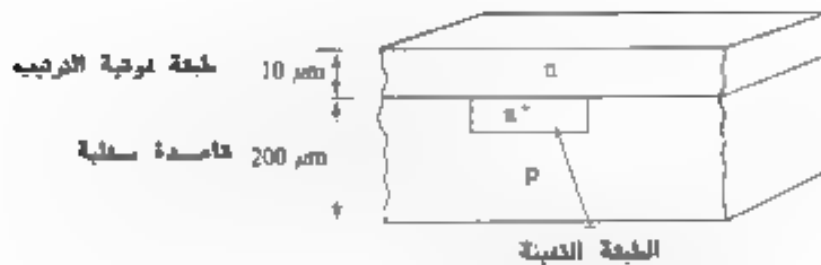
النمو الاكسیدی والقناع الضوئي :

يؤكد السطح العلوي للطبقة السفلية بامرار محار عليها بعد مقلتها ومحصها ، ويبلغ سمك طبقة الاكسيد المبينة بواسطة هذه العملية حوالي $1 \mu m$ يعطى السطح العلوي من الاكسيد معدن مادة حساسة للصوء تعرف بمقاوم الصوء ، كما هو موضح في شكل ١٢-٢ [١] . ثم تعرض لمقاوم الصوء للأشعة فوق البنفسجية خلال قناع فوتوغرافي [انظر شكل ١٢-٢ [ب] ، ثم تتصلد مساحات مقاوم الصوء التي كانت معرضة للصوء . اما المساحات التي كانت غير معرضة للصوء والمغطاة بالمساحات الممتية من القناع من لبنة وتداب بواسطة مادة مضيية ، مع ترك منطقة في مقاوم الصوء تتمشي الشريحة في الحامض لازالة المساحة التي تعرضت للصوء من الغشاء الاكسیدی مع ترك « بقعة » تمتد الى السطح العلوي من القاعدة السفلية . يرال بعد ذلك الجزء الباقي من مقاوم الصوء بواسطة مادة مضيية اخرى ، ثم تشطف وتشف .

الانتشار : تمرر الشريحة في المرحلة التالية خلال غرس انتشار ، حيث تسخن إلى درجة حرارة سبع حوالي 1200°C ، ويمرر عليها غازات تحتوي على أضغاث معالجة بملحبة ، انظر شكل ١٢ - ٤ [ج] تؤدي الاضغاث المعالجة في الغاز الى تحول المساحة المكتسوبة من القاعدة السفلية النوع - م الى مادة من النوع - + وفي النهاية ، قسور الطبقة الحفنية المستشره خلال العادة في طبقة الاكسيد بهذه الكيفية الى عمق حوالي $7\text{ }\mu\text{m}$.



شكل ١٢ - ٤ انتاج للطبقة الحفنية من نوع م +



شكل ١٢ - ٥ مقطع خلال الشريحة الترتيب بعد تكوين الطبقة فوقية الترتيب .

ثم تمشط طبقة الأكسيد بعيدا لترك القاعدة السفلية من النوع - م مع الطبقة الدمية نوع م + على سطحها .

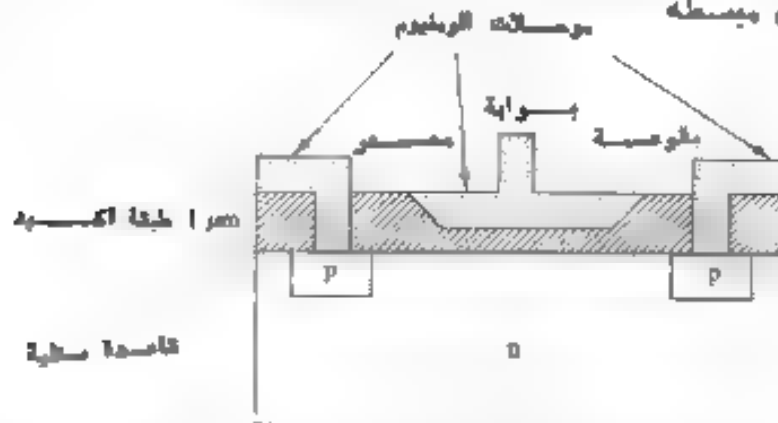
الطبقة فوقية التركيب : بعد ذلك ، نسحق الشريحة الرقيقة مرة أخرى من مرر ومعرض للعاز الذي يؤدي الى نمو طبقة فوقية المرتبب من النوع م من ماسطام فوق كل السطح [انظر شكل ١٢ - ٥] . وان لمى هذه الطبقة فوقية الترسيب بسبك $10 \mu m$ ، قد شكلت الدائرة التكاملية كلها .

مكونات الدائرة : لكي يعزل المكونات داخل الدائرة عن بعضها البعض ، يصبح من اللازم بمعدن تكوين حوائق عازلة حول المساحات التي شكل عندها المكونات . وسننشئ الحوائق العازلة من النوع - م داخل الطبقة فوقية المرتبب بواسطة عملية من التقيع والتشمش والاستشطار تماثل العملية التي سبق وصفها [انظر شكل ١٢ - ٣] ب . ويهيئ الحندق وصلة ربط بين سطح الدائرة المكاملية والقاعدة السفلية ، ويعزل كهربائيا المساحات التي يحيط بها .

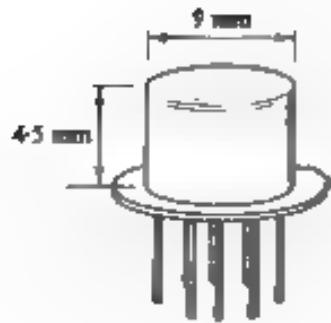
بعدئذ ، تقطع نواخذ في طبقة الأكسيد لتسمح ببداة استشطار القاعدة من النوع - م وكذلك المقاوم . وبعد ذلك ، نسمح عملية الانتشار التالية ببداة التهيئة لماعث الترانزستور وكذلك المنطقين م + في المجمع . وندمو الحاحة لهاتين حتى [١] سمحا بعمل توصيلة لمنطقة المجمع معها [ب] تمكنا المجمع والمقاوم من أن يتصلا مع بعضهما البعض .

انهاء الدائرة التكاملية : يتم تخيير طبقة من الألومنيوم بسبك حوالي $1.5 \mu m$ على السطح الكلي للدائرة ، وتزال المناطق الغير مطلوبة للتوصيلات الكهربائية بعملية التشمش . وتنفذ التوصيلات بين الألومنيوم المستعد والاطراف الخارجية للدائرة المتكاملة .

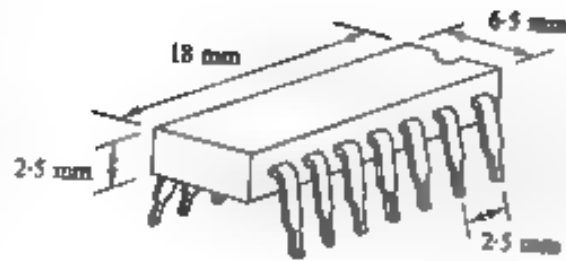
ومن الحدير بالذكر ، ان ما سبق هو وصف مبسط للعمليات المضمنة ، وكما يستتق معنا القارىء نال رسم المقطع في شكل ١٢ - ٣ ب هو صورة اخرى مبسطة



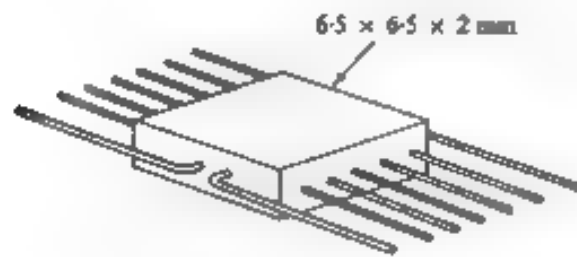
شكل ١٢ - ٦ ترانزستور التأثير الجاهلي من انهاء الوصلات اكمي معدنية (MOSFET) ذو القناة - الموجبة .



[٥٢]

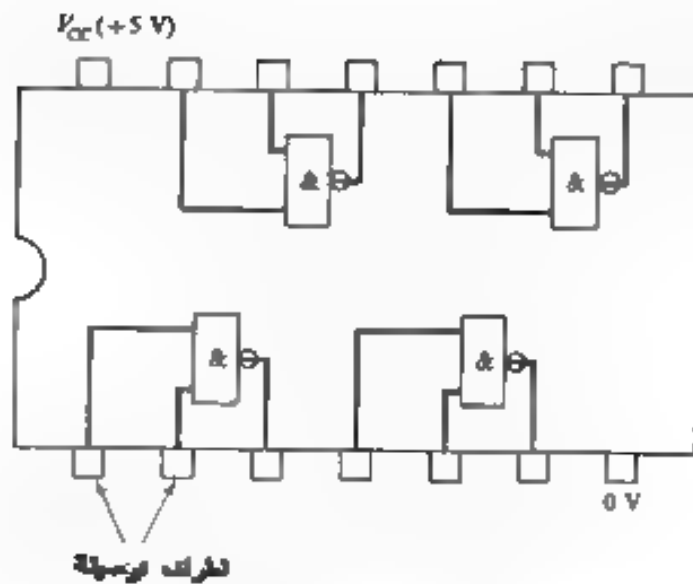


[٥٣]

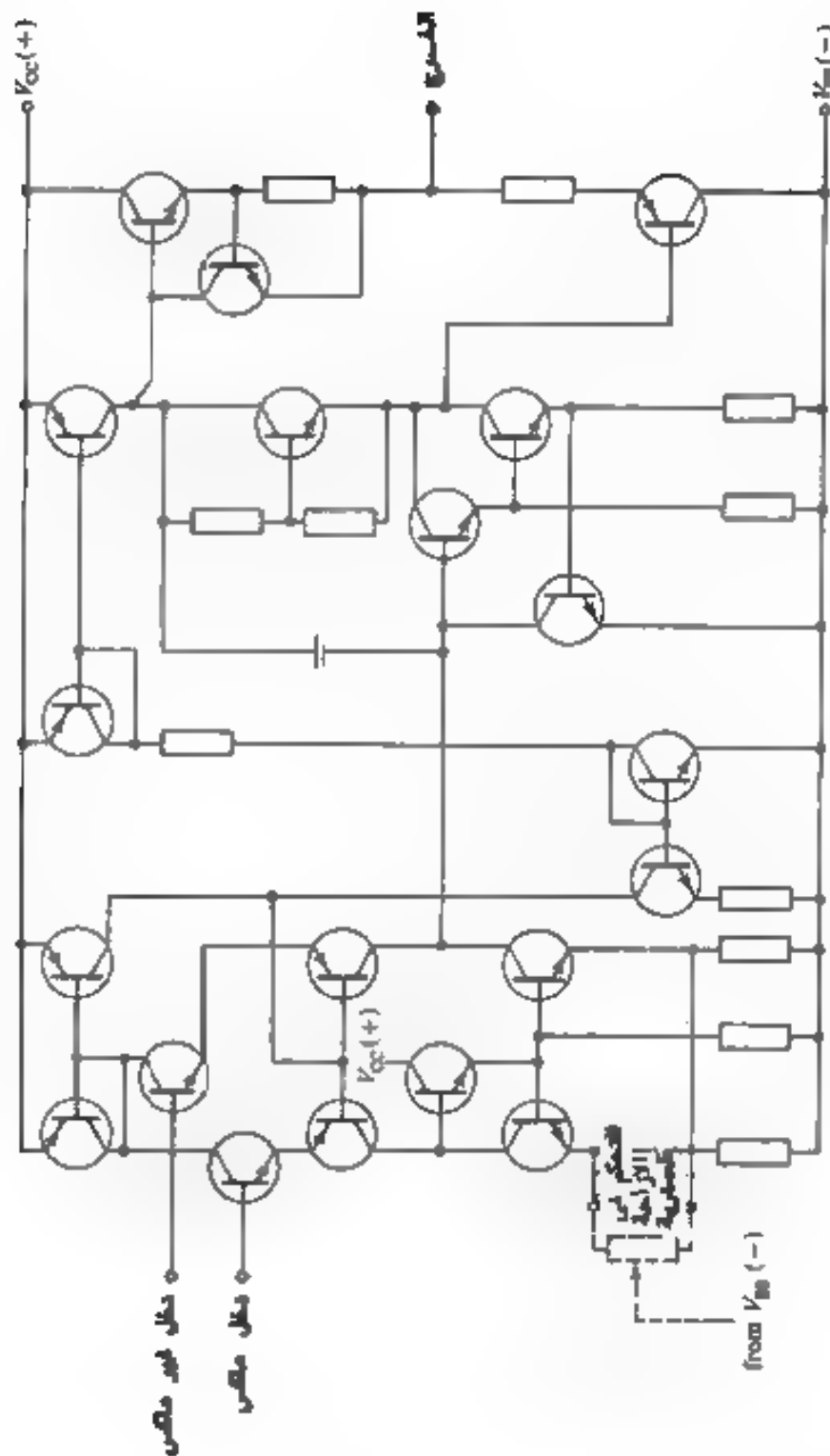


[٥٤]

شكل ١٢ - ٧ كسولات دوائر التكيف



شكل ١٢ - ٨ كسولة دائرة NAND المتكيفة بها أربعة وحدات لكل منها مخرج .



شكل ١١ - ٩ دائرة التمر التشغيلي 741

وتتضمن عملية تصنيع الدائرة المكملة ثمانية القطب في مجموعها حوالي 80 إلى 100 عملية منفصلة ، ويحتاج بعضها إلى بضعة ساعات لتكاملها ويحتاج البعض الآخر إلى بضعة أسابيع .

١٢ - ٤ تصنيع الدوائر التكاملية من أشباه

الموصلات الأكسي معدنية MOS

يوضح شكل ١٢ - ٦ مقطعا في ترانزستور التأثير المجالى من أشباه الموصلات الأكسي معدنية (MOSFET) ذات القناة الموحية والمصنع في شكل دائرة تكاملية ، حيث يظهر السمات الأساسية للمنطقة عند المقارنة مع الدائرة التكاملية التقليدية القطب المينة في شكل ١٢ - ٣ ، يصبح واضحا أن نظية أشباه الموصلات الأكسي معدنية (MOS) أسهل في الإنشاء وتحتاج علاوة على ذلك إلى مساحة سطح أقل على الشريحة الرقيقة لأشبه الموصل بالنسبة للترانزستور ثنائي القطب . وبالتالي ، يصبح ممكنا باستعمال عناصر أشباه الموصلات الأكسي معدنية (MOS) لها إلى إنتاج دوائر أكثر تركيزا على الشريحة الرقيقة المعطاء ، أو إلى إنتاج نفس الدائرة بتكاليف أقل مما هو الحال مع العناصر ثنائية القطب . وهكذا ، تنفذ الدوائر المنطقية غالبا في معظم الآلات الحاسبة الإلكترونية بواسطة نبات من أشباه الموصلات الأكسي معدنية (MOS) في شكل دوائر تكاملية .

١٢ - ٥ جميع الدائرة المتكاملة

يوضح شكل (١٢ - ٧) ثلاثة من الأشكال شيوعا لتصنيع [أو تخليق] الدوائر التكاملية . هذا وأن أكثر الأشكال شيوعا هي المجموعة بكبسولة البلاستيك ثنائية الخطوط ذات الأربعة عشر طرفا (DIL) والمينة في الشكل ١٢ - ٧ [١] .

وللمجموعة ثنائية الخطوط ذات الأربعة عشر طرفا ، سبعة أطراف توصيل على كل جانب على أن يمتد كل زوج مقابل من كلا الجانبين على استقلية واحدة ، وأن تكون المسافة بين كل طرفين 2.5 mm (0.1 in) لكي تسمح بتركيب الدائرة التكاملية مباشرة في اللوحات التيلسية للدائرة المطبوعة ويحتوى نموذج الطبعة الصغيرة [طبعة معدنية] في شكل [١٢ - ٧ [ب]] الدائرة المتكاملة في طبعة معدنية محكمة السد . وغالبا ما يكون نموذج المجموعة المسطحة [شكل ١١ - ٧ [ج]] من تركيب خزفي ويحكم أغلانه بالمثل .

هذا وتتلين إلى حد بعيد درجة التحديد للدائرة المحتواة في مجموعة الدائرة المتكاملة . وربما تكون أكثر الدوائر المتكاملة المنطقية استعمالا في كل مكان هي 7400 N (أو 74131) بأربعة وحدات ولكل وحدة طرفي دخل وبوابة ترانزستور ترانزستور - منطقي TTL NAND وتتواجد في شكل مجموعة ثنائية الخطوط بأربعة عشر طرفا كما هو موضح في شكل ١٢ - ٨ .

ويوضح شكل ١٢ - ٩ دائرة الكبر التشغيلي 741 الذي يعتبر أكثر نماذج الدوائر التكاملية الخطية شيوعا . ومع أن الدائرة معقدة جدا ، إلا

أن الحاجة تدعو لحل سبعة توصيلات خارجية للمكبر فقط . وستناقش تطبيقات هذا النوع من المكبرات في الفصل الرابع عشر . نحتاج إلى مبرق الإزاحة الصفرية ، الذي يوصل خارجياً بالدائرة في الحالات التي ينحرف فيها خرج الجهد فيلزم إرجاعه إلى الصفر باليد .

١٢ - ٦ دوائر القياس المتوسط المتكاملة والقياس المكبر للدائرة التكاملية

تستخدم عادة عبارة دائرة القياس المتوسط المتكاملة (MST) وعبارة القياس المكبر للدائرة التكاملية (LST) عند وصف أنواع معينة من الدوائر المنطقية المعقدة . وتشير هذه العبارات إلى عدد البوابات المنطقية الكاملة في دائرة تكاملية واحدة بالمجموعة ولو أن هذا التعريف ليس دقيقاً للخية ، إنما يمكن توضيحه كالآتي :

[أ] تحتوي دوائر القياس المتوسط المتكاملة (MST) ما بين حوالي 10 إلى 100 بوابة .

[ب] تحتوي دوائر القياس المكبر المتكاملة (LST) على أكثر من حوالي 100 بوابة .

وتستخدم الدوائر المتكاملة في الحسابات الإلكترونية شريحة القياس المكبر للدائرة التكاملية .

الفصل الثالث عشر

مكبرات التغذية المرتدة والمذبذبات

١٣ - ١ التغذية المرتدة السالبة والموجبة

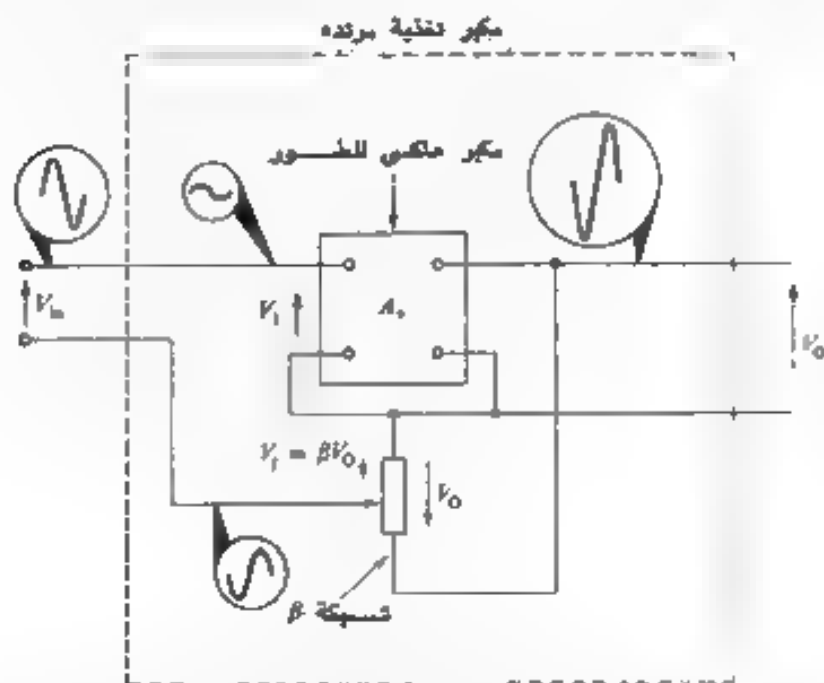
مكبر التغذية المرتدة هو المكبر الذي يرتد الى دخله جزء من اشارة الحرج او كلها الى بعض الاحيان وتضم هذه الاشارة الى اشارة الدخل لتعطي اشارة مركبة ، لتسلط بعدئذ الى المكبر . والنتيجة النهائية لتسليط هذه التغذية المرتدة هو تغير اداء ، حيث يعتمد نوع وكيفية التغير على مدة وموئل تشمل كيفية التحصل على اشارة التغذية المرتدة ، والطريقة التي ترتد بها هذه الاشارة ، والنهج المستخدم لدفع الاشارة الى المكبر .

ويصنف اجابلية يمكن تقسيم دوائر التغذية المرتدة الى نوعين ، هما مكبرات التغذية المرتدة السالبة ومكبرات التغذية الموجبة . ومع مكبرات التغذية المرتدة السالبة ، يضاف طور اشارة التغذية المرتدة (اى ان لها قطبية مضادة) طور اشارة الدخل ولذلك تنقص اشارة الدخل الخلصة المسطرة على المكبر . وبصفة عامة ، يصبح تأثير التغذية السالبة المرتدة تقليلًا لكسب الجهد الظاهري للمكبر ويعرف هذا باسم **التغذية الخلفية المصغرة** ، حيث لهذا النوع من التغذية المرتدة تأثيرات مفيدة كثيرة ، ستفترض لكثير منها خلال هذا الفصل . اما مع مكبرات التغذية المرتدة الموجبة ، فان طور اشارة التغذية المرتدة ينفق مع طور اشارة الدخل ولذلك تزيد اشارة الدخل الخلصة المسطرة على المكبر . وينتج عن ذلك ، ان يزداد كسب الجهد الظاهري للمكبر ، ويعرف هذا باسم **التغذية الخلفية المعززة** . وآثر التغذية المرتدة الموجبة هي بصفة عامة ، عكس تأثيرات التغذية السالبة المرتدة ولها ، على وجه العموم ، تأثير غير موازن (غير مستقر) على الدائرة . وتستخدم التغذية المرتدة الموجبة في صور متعددة للمذبذبات سيوضح بعض منها في هذا الفصل .

١٣ - ٢ أساس عمل مكبرات التغذية المرتدة السالبة

يوضح شكل [١٣ - ١] فكرة عمل اشكال كثيرة لمكبرات التغذية المرتدة السالبة . ففي هذه الدائرة ، توصل اشارة التغذية المرتدة V_f على التوالي مع اشارة الدخل V_{in} ، ونتيجة لذلك ، يعرف هذا النوع من الدوائر بمكبر جهد التغذية المرتدة السالبة على التوالي .

ويتكون مكبر التضخية المرتدة ، وهو المحلظ بالمستطيل ذي الخطوط المتقطعة ، شكل ١٣ - ١ ، من مكبر عاكس للطور مع شبكة تغذية مرتدة .



شكل ١٣ - ١ مكبر جهد التضخية المرتدة السابقة على التوالي .

تسمى شبكة B . على الحالة البنية ، تعتبر الشبكة B مسطرة مجزئة للحد . وللتمييز بين المكبر العاكس للطور Δv ، ومكبر التغذية المرتدة بأكمله ، يرجع على وجه التحديد إلى المكبر [ونعني المكبر العاكس للطور الذي هو محدد جزء من الدائرة الكاملة] أو إلى مكبر التغذية المرتدة [ونعني به الدائرة الكاملة في شكل ١٣ - ١ . وتوضح العلاقات بين أطوار الاشكال الموجية عند نقط مختلفة في الدائرة بواسطة الرسوم التخطيطية للاشكال الموجية في الشكل . ومما أن المكبر عاكس للطور ، لذا يتضاد طور V_f مع طور V_m وتكون قيمة الإشارة V_f المسطرة بالفعل على المكبر A ذات قيمة معسيرة ويتفق طورها مع طور إشارة الدخل V_m .

ولنأخذ في الاعتبار الآن عمل هذه الدائرة . بفرض أن كسب المكبر العاكس للطور هو -100 [الإشارة السالبة تعني عكس للطور] وأن قيمة الجهد المسلط على طرفي المكبر تساوي 1 mV . ففي هذه الحالة ، تصبح قيمة جهد الخرج V_o عبارة عن $-1 V = -1000 \times 0.001$ مرة أخرى نقرر أن وعود الإشارة السالبة إنما يملئ أن طور جهد الخرج يعاكس طور الجهد V_f . وبفرض أن شبكة B تأخذ خلفيا 0.9 في ابلقة ($\beta = 0.009$) من إشارة الخرج إلى الدخل .

$$V_f = \beta V_o = 0.009 \times (-1) = -0.009 V \text{ or } -9 mV \text{ بمعنى أن}$$

$$V_i = V_m + V_f \text{ ، ترى أن [١٣ - ١] ومن شكل}$$

$$V_m = V_i - V_f = 1 - (-9) mV = 10 mV \text{ لو}$$

أي أن ، قيمة الجهد المسلط V_{in} على طرفي مكبر التغذية المرتدة اللازمة
لإعطاء خرج قيمته 1000 mV تبلغ 10 mV وهكذا يصبح كسب الجهد
للكي A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة عبارة عن

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-1000}{10} = -100$$

وفي الحالة السابقة ، يصبح كسب المكبر A_v ، يعادل -1000 ، بينما قيمة
كسب الجهد لمكبر التغذية الخلفية هي مجرد -100 . وهكذا ، يصبح
أحد تأثيرات هذا الأسلوب من التغذية المرتدة هو انخفاض قيمة كسب الجهد
لمكبر التغذية المرتدة إلى قيمة أقل من كسب المكبر المستخدم في الدائرة .
ويعتبر هذا ضمن الحوائط المعيبة للتغذية المرتدة السالبة ، مع العلم أن
لهذا النوع مميزات أكثر ، كما سنفري فيما بعد .

ويمكن حساب قيمة كسب الجهد A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة باستخدام
المعادلة الآتية :

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 - A_v \beta}$$

حيث A_v هو كسب الجهد للمكبر A و β هي جزء من إشارة الخرج
المرتدة خلفياً إلى الدخل . وبالتعويض بالأرقام السابقة

$$A_{vf} = \frac{1000}{1 - (-1000 \times 0.009)} = \frac{1000}{1 + 9} = -100$$

ولنفترض أن قيمة الكسب A_v للمكبر قد هبطت إلى ما قيمته 800 ،
نتيجة لبعض العوامل مثل تقدم المكونات وتغيرات جهد المصدر و ... الخ .
هنا استخدم المكبر بدون تغذية مرتدة ، فانه ينتج عن الهبوط في الكسب
انخفاضاً في جهد الخرج يصل إلى 20% .

وإذا استخدم المكبر بنفس كمية التغذية المرتدة في الحالة السابقة
($\beta = 0.009$) فإن كسب الجهد الإجمالي لمكبر التغذية المرتدة ينقص إلى

$$A_{vf} = \frac{800}{1 - (-800 \times 0.009)} = \frac{800}{1 + 7.2} = -97.56$$

أي أن كسب الجهد الإجمالي للمكبر يهبط بمقدار 2.4% فقط عندما يهبط
كسب المكبر الداخلي بمقدار 20% . أي أن هذا النوع من التغذية المرتدة
يؤدي إلى تحسين استقرار كسب الجهد لمكبر التغذية المرتدة بالمقارنة
مع كسب الجهد المكبر المستخدم في الدائرة . والمسؤال الآن يدور حول
كيفية تقدير هذا التحسن الملحوظ في الأداء . فكل وسيلة تقوم بمكبر التغذية
المرتدة بضغط مستويات الجهد في الداخل بطريقة تلقائية ليعوض الانخفاض
في كسب المكبر . ولنأخذ في الاعتبار كيف يحدث هذا في الحالة السابقة .
نفرض أن قيمة الإشارة V_{in} قد ثبتت عند 10 mV ، فإن الحسابات
السابقة توضح أن قيمة جهد الخرج الجديد ستكون 975.6 mV ، مما يعطي

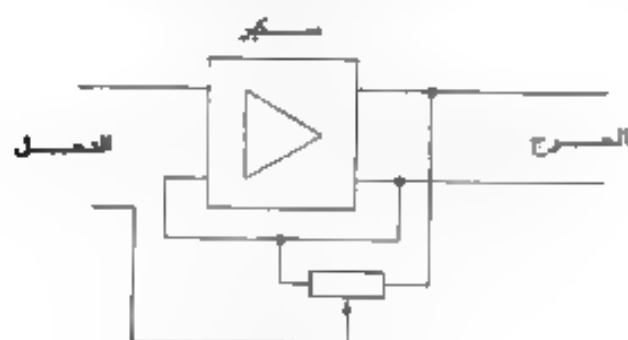
قيمة جديده لجهد التغذية المرتدة على -8.78 mV $0.009 \times (-975.6) \text{ mV} = -8.78 \text{ mV}$ ونرى أن قيمة V_i المسطرة الآن على المكبر هي

$$V_i = V_m + V_f = 10 + (-8.78) = 1.22 \text{ mV}$$

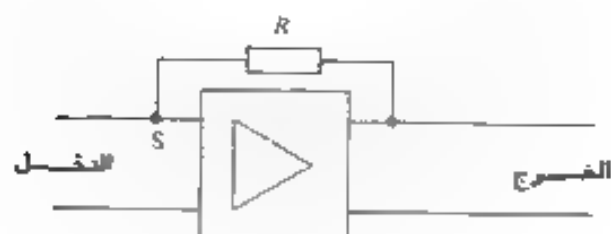
وعند هذه النقطة نرى أن قيمة V_i قد زادت من القيمة الأصلية وهي 1 mV [عندما كان كسب المكبر يعادل 1000 -] إلى قيمة يعادل 1.22 mV ، عندما هبط الكسب إلى -800 . وهكذا تصبح القيمة الجديدة لخرج الجهد من المكبر

$$-800 \times 1.22 \text{ mV} = -976 \text{ mV}$$

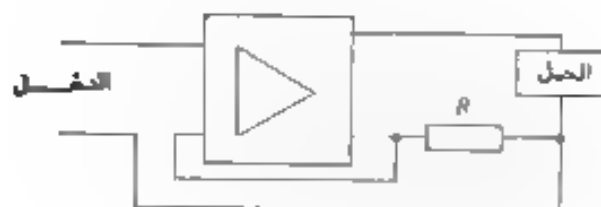
وتوضح الحسابات السابقة كيف يحافظ مثل هذا النوع من التغذية المرتدة .



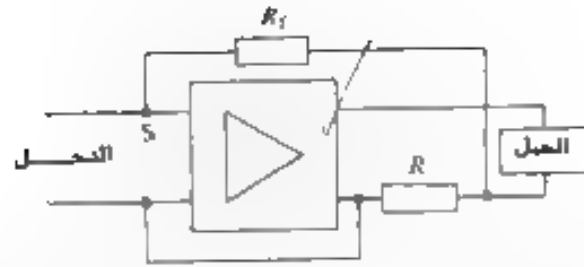
[أ] التغذية المرتدة لتقريب الجهد على التوافقي



[ب] التغذية المرتدة لتقريب الجهد على التوافقي



[ج] تغذية التيار المرتدة على التوافقي



[د] تغذية التمرار المرتدة على التوازي

شكل ١٣ - ٢ الشكل الخطيية للأنواع الأساسية من مكبرات التغذية المرتدة

على ثبات كسب مكبر التغذية المرتدة بالتقريب ، بالرغم من إمكانية تعبير كسب المكبر المستخدم في الدائرة عبر مدى واسع من القيم .

١٣ - ٣ الأنواع الأساسية لمكبر التغذية المرتدة

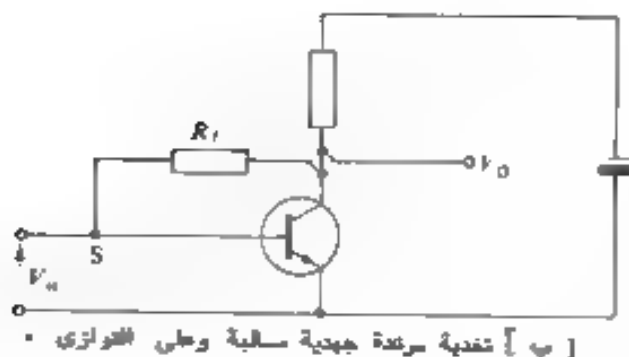
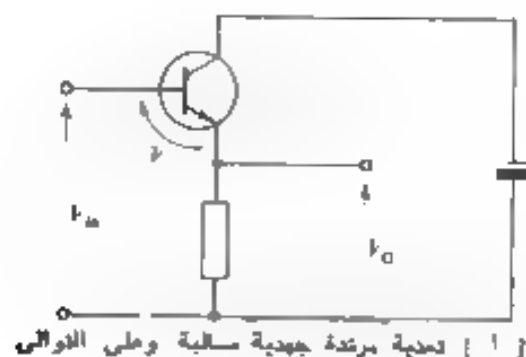
كما اثرننا سابقا ، يمكن تبسيط التغذية المرتدة ، بعدة طرق ، وللمساعدة على تفهم أساسيات هذا الموضوع ، يوضح شكل ١٣ - ٢ رسوم تخطيطية لأراحل مكبرات التغذية المرتدة الأساسية .

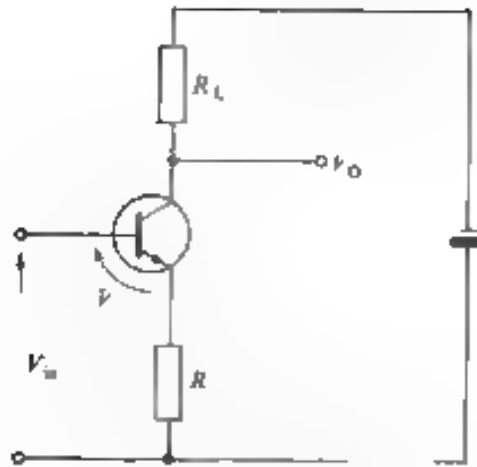
يقال إن تغذية مرتدة على التوالي قد سلطت ، إذا دفعت إشارة ارتداد التغذية عند المدخل للاتصال على التوالي مع إشارة الدخل . ويوضح الرسميل التخطيطيل في شكل ١٣ - ٢ [أ] و [ب] أمثلة لكل هذا النوع من العوائر . ومن التغذية المرتدة على التوازي ، تحول إشارة التغذية الخلفية إلى تيار وذلك بسلطها على مقاومة ارتداد التغذية المبينة بالمقاومة R_f في الرسوم التخطيطية [ب] و [د] في شكل ١٣ - ٢ . ويصلب التيار المساري المقاومة R_f عند الوصله S على التوازي مع تيار مصدر إشارة الدخل .

إن الطريقة التي نشق بها إشارة التغذية المرتدة لها مائل ذات مغرى . كما في الدائرتين المبينتين في شكل (١ ، أ و ب) . يقال عندئذ إن تغذية مرتدة جهدية قد سلطت على الدائرة . وعندما تكون إشارة التغذية الخلفية متناسبة مع تيار الحرج ، يقال إن تغذية مرتدة تيارية قد سلطت على الدائرة . والطريقة الشائعة للحصول على إشارة متناسبة مع تيار الحرج هي عن طريق توصيل مقاومة على التوالي مع الحمل . حيث وضعت مقاومة R من هذا النوع في الرسميل التخطيطيل [أ] و [د] في شكل ١٣ - ٢ . ويتناسب الجهد الناتج بين طرفي هذه المقاومة مع تيار الحمل ، ويستخرج هذا الجهد كإشارة تغذية مرتدة . وقد تتلخ هذه الإشارة الأخيرة لتوصيلها إما على التوالي مع إشارة الدخل [شكل ١٣ - ٢ ج] ، أو على التوازي مع إشارة الدخل عن طريق المقاومة R_f [شكل ١٣ - ٢ د] .

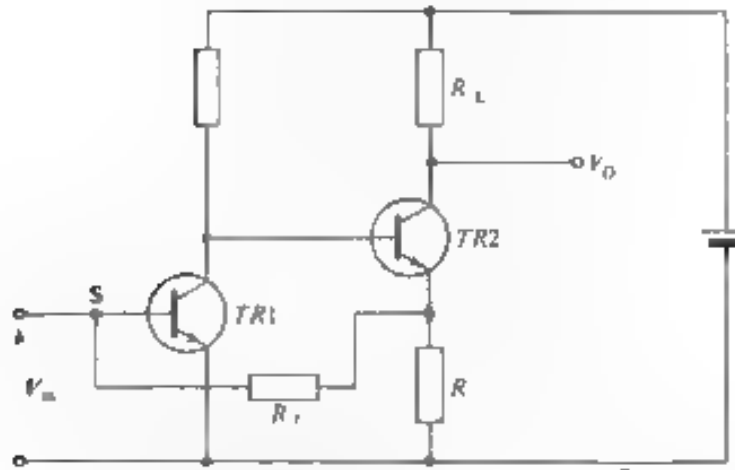
ويوضح شكل ١٣ - ٣ أمثلة عملية عن كيفية تسليط التعتبة المرتدة على دوائر الترانزستور . حيث تتناظر الرسوم التخطيطية في شكل ١٣ - ٢ من [أ] إلى [د] مع الدوائر المبينة في شكل ١٣ - ٢ من [أ] إلى [د] على الترتيب . وللأسفظة والوصوح خدمت ترتيبات اتحياز الدوائر في شكل ١٣ - ٣ . وبدا الجهد V_0 في الظهور بين طرفي المقاومة الموصلة بين طرف الباعث والأرض في الدائرة الموضحة في شكل ١٣ - ٣ [أ] . ويحدث كل هذا الجهد العاكس لاشارة الدخل ليعبذ دائرة الدخل على التوالي معها بحيث يسقط 100 في المئة تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالي . ومعرف هذه الدائرة باسم تلمعة الباعث ، وستوضح بالتفصيل في هذا الفصل . أما في الدائرة المبينة في الشكل ١٣ - ٣ [ب] ، فإن جهد الخرج يسقط على إحدى مهبطي مقاومته ارتداد التعتبة R_E ويمسك مسار المسار خلال هذه المقاومة إلى التيار المسحوب من مصدر الخرج V_{EE} عند الوصلة S . وتتحدد العلاقة بين طورى الدخل V_{in} والخرج V_0 في هذه الدائرة بحيث يسقط على المكسر تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوازي .

مقاومة الحمل R_L توصل على التوازي مع خط الجمع . وللمقاومة R عند طرف الباعث قيمة ثقل كثيرا من مقاومة الحمل R_E ، وتتناسب قيمة الجهد بين طرفي R مع التيار المسلب في مقاومة الحمل R_E . وتتحدد علاقته الطور بين جهود الدائرة بحيث ينقص فرق الجهد بين طرفي R من قيمة V لكي يصبح أقل من قيمة V_{BE} .





[ج] تفتية مرندة تيارية سالبة وعلى التوالى .



[د] تفتية مرندة تيارية سالبة وعلى التوالى .

شكل ١٣ - ٢ ثلاثة لدوائر مكبر التفتية المرندة

وحيث ان الجهد بين طرفى المقاومة R موصل بالفعل على التوالى مع اشارة الدخل ، فل تفتية مرندة تيارية سالبة وعلى التوالى تصح سلطه عليها . ومن تحليل هذه الدائرة يقين ان قيمة كسب الجهد تساوى تقريباً R_L/R ، فادا كانت $R_L = 6.8 \text{ k}\Omega$ و $R = 470 \Omega$ فلن قيمة كسب الجهد للدائرة المبينة فى شكل ١٣ - ٢ [ج] تصبح حوالى 14.5 .

ان دائرة الشكل ١٣ - ٢ [د] ، والتي سلط عليها تفتية مرندة تيارية سالبة وعلى التوالى لاكثر تعقيداً من الدوائر الاخرى لانها تتضمن مرحلتين للتكبير ومن هذه الدائرة ، توصل مقاومة الحمل R_L فى دائرة المجمع للترانزستور $TR2$ ويمر تيار فى المقاومة R الموصلة فى دائرة الباعث للترانزستور $TR2$ تساوى قيمته بالتقريب تيار الحمل . ويسلط الجهد الناتج بين طرفى هذه المقاومة لاحدى نهايتى مقاومة التفتية المرندة R_L

وبصاف الثير المساب في المقاومة R_f على البوارى مع التيار الناتج من اشارة مصدر الدخل V_i عند الوصله S . مره اخرى تتحدد علاقات انطور في الدائرة بحيث تسلط تعديبة مرتدة سالبة وتصبح القبة التقريبية لكسب جهد للدائرة المسه في شكل ١٣ - ٢ [د] $R_f R_i$ فلذا كتبت $R = 470 \Omega$ و $R_f = 47 k\Omega$. من قببه كسب الجهد الكلى تلغ 10 ومستخدم صور من الدائرة المسه في شكل ١٣ - ٢ [د] بكثرة مع معدات التردد السعوى ، باستثناء ان شكه معقدة من مقاومات ومكثفات تحل محل R_f . وبؤدى هذا الى امكانيه تحقيق اشكل المطلوب لحوامى الاسجالة الترددية للمكر .

١٣ - ٤ سميات مكبرات التفضية المرتدة السالبة

بكر وتتوع سمات مكبرات التعديبة المرتدة السالبة وسيعطى هسا ملخص مختصر للسميات الاساسية .

تؤثر التعديبة المرتدة السالبة على متغيريات كثيرة من بينها كسب الجهد ومعنومه الدخل ومعاوقة الدرح بالكمنه الموصحة ادماه . وتنبب التعبيرات امحدولة بالنسبة الى القبه المصاحبة للمكر قبل تسلط التفضية المرتدة .

نوع التفضية المرتدة	اثرها على الكسب	اثرها على مقاومة الدخل	اثرها على مقاومة الدرح
تعدبة مرتدة سالبة	تقل		
تعدبة مرتدة سالبه وعلى البوارى		تقل	
تعدبة مرتدة سالبه وعلى التوالى		ترداد	
تعدبه مرتدة جهدة سالبة			تقل
تعدبة مرتدة ميارية سالبة			ترداد

ومى بعض التطبيقات ، قد يستطيع مصدر اشارة ان يهوى تيارا في حدود حره من المكروامبير . وفى هذه الحالة ، يتحتم ان تكون المعاوقة الداخلية للمكر ، الذى سيوصل معه مصدر الاشارة ، كبيرة حتى يسحب تيارا صغيرا جدا . ويتضح بخلاء من الحدول السابق ، انه يجب استخدام مكر التعديبة المرتدة السالبة على التوالى ، هيك ان هذا يؤدى الى زيادة معاوقة دخل مكر التعديبة المرتدة عن معاوقة المكر نفسه . وفى حالات اخرى ، قد تكون معاوقة الحمل الموصل بخرج المكر .

ذات قبه منخفضة وتسحب تيارا كبيرا نسبيا من المكر . وفى هذه الحالة ، يصبح استخدام مكر بتعدبة مرتدة جهدية سالبة امرا ضروريا ،

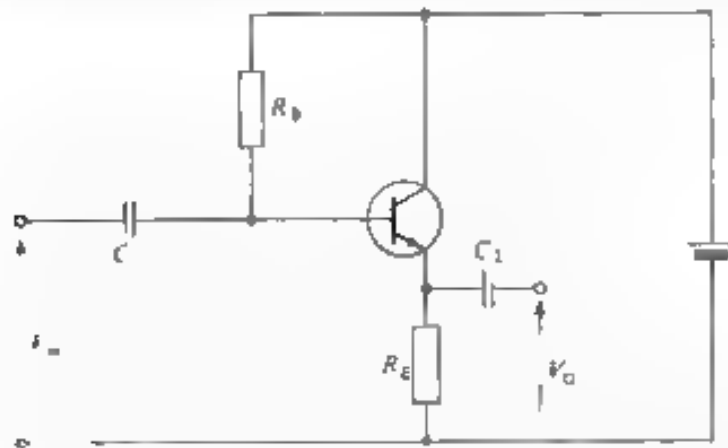
لا هذا يؤدي الى الاقلال من قيمة معاوقة الخرج لمكبر التغذية المرتدة من قيمة معاوقة الخرج للمكبر نفسه . ومن ثم يلزم تبسيط تعديلة مرتدة جهدية سالمة وعلى التوالي مع مكبر التعديلة المرتدة معطى خواصا تتمثل في معاوقة الدخل المرتفعة ومعاوقة الخرج المنخفضة بالنسبة لمعاوقة المكبر الاساسي المستخدم في الدائرة . وبوصف شكل ١٢ - ٣ [١] مكبرا من هذا النوع .

وتحسن التغذية المرتدة السالبة ايضا استقرار الكسب للمكبر عند حدوث تغيرات في الدائرة . وقد تم توضيح ذلك في الجزء ١٣ - ٢ ، كما انها تؤدي ايضا الى زيادة عرض النطاق الترددي لمكبر التعديلة المرتدة عن عرض النطاق الترددي للمكبر الاساسي . ومن الممكن اثبات ان حاصل ضرب الكسب في عرض النطاق الترددي لمكبر التعديلة المرتدة هو مقدار ثابت ، بغض النظر عن كمية التعديلة المرتدة المسلطة [انظر ايضا الفصل الرابع عشر] . فلذا نتج عن كمية التعديلة المرتدة المسلطة خفض في الكسب العدي بمعامل عشرة ، قل عرض النطاق الترددي يزداد بمعدل عشر المرات ايضا .

ويمكن تبسيط التغذية المرتدة السالبة ايضا ان تقلل من كمية تشوه الإشارة الخارج بشرط ان درجه تشوه الإشارة لم تكن على درجة من الاقراط قبل حدوث التغذية المرتدة .

١٢ - ٥ مكبرات تابع الباعث وتابع المصدر

بوصف شكل ١٢ - ٤ صورة من دائرة للباعث والمكبر المتعددية في التطبيق العملي . وسيلأخذ القارئ التشابه بين دائرة تابع الباعث ومكبر التغذية المرتدة الجهدية السالبة وعلى التوالي والتي سبق عرضها في شكل ١٢ - ٣ [ج] ، حيث يتمثل الفرق بين هاتين الدائرتين فيما استجد من



شكل ١٢ - ٤ دائرة تضخيمية تابع الباعث

مكونات إضافية R_b ، C_1 و C_2 . وسيعطى السبب لاستخدام هذه المكونات فيما يلي :

المقاومة R_E هي مقاومة انحياز القاعدة وبعد الترانزستور سار السكون للقاعدة ، وبالتالي ، تصدد هذه القيمة سار السكون الباعث . وتحدد أقصى قيمة يتأرجح الحرج بواسطة ترقى الجهد عبر طرفي المقاومة R_E ، حيث أن قيمة هذا الجهد لن تستطيع الهبوط لأقل من الصفر [عندما يقل تيار القاعدة إلى الصفر بواسطة إشارة الدخل] وتستطيع أن تقترب قيمتها من جهد المصدر [عندما يدفع الترانزستور إلى حالة التشبع بواسطة إشارة الدخل] . فإذا كان لتأرجح جهد الخرج أن يتحدد قيمة كبيرة ، فلهذه يهتم أن تكون قيمة جهد السكون عند الباعث مساوية لنصف قيمة جهد المصدر بالتقريب . فإذا كان جهد المصدر 9V وإذا كان تيار السكون للباعث 1 mA فإن قيمة مقاومة الباعث يمكن أن يبلغ قيمتها 47 k Ω ولتسوف تقع القيمة المناسبة لقيمة المقاومة R_E في المدى من 150 k Ω إلى 390 k Ω طبقا لقيمة كسب التيار للترانزستور .

ووظيفة المكثف المانع C_1 هي منع التيار المستمر لدائرة الانحياز من التمسك في دائرة دخل مصدر الإشارة . وحيث أن تغذية سالبة مرتدة وعلى التوالي سلطت في هذه الحالة ، فإن معاوقة الدخل للمكثف تصبح مرتفعة [تساوى في القاعدة قيمة المقاومة R_E] ، بحيث يمكن أن تكون سعة المكثف C_1 محصية ، وأن قيمة لها في حدود 0.5 μ F تعتبر ملائمة بالنسبة لتطبيقات كثيرة في مجال التردد السمي .

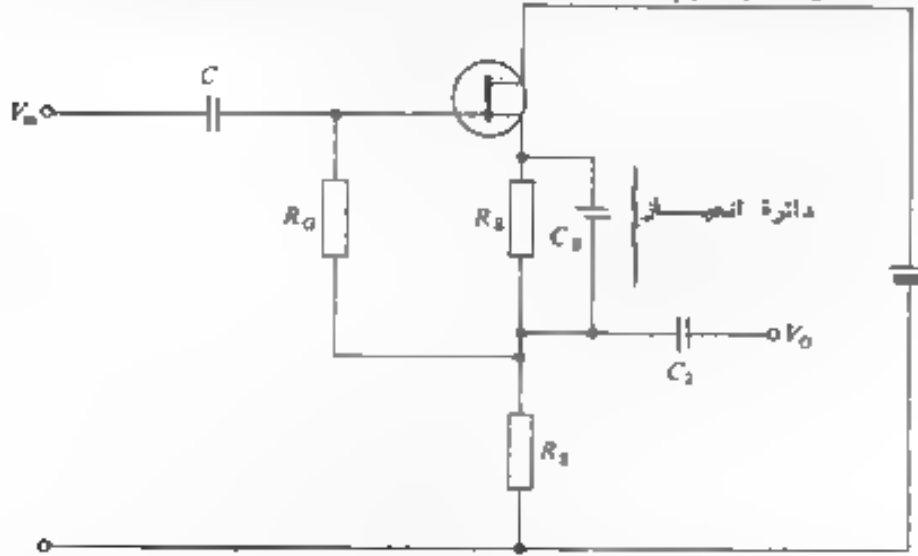
وتؤخذ المركبة المرددة لجهد الخرج V_o من باعث الترانزستور عن طريق المكثف العائق للتيار المستمر C_2 . ومعاوقة هذا المكثف منحصة عند تردد التشغيل بحيث يصبح الهبوط في جهد التيار المتردد بين طرفيه صغيرا جدا . ومن الممكن استخدام قيمة للمكثف C_2 تعادل 50 μ F لاحتمالات كثيرة في مجال التردد السمي .

ولنأخذ في الاعتبار عمل هذه الدائرة ، عند تسليط جهد V_{in} عند الدخل ، يريد سار القاعدة ومعه يزداد تيار الباعث أيضا ، كلما ازدادت قيمة V_{in} وبناء على ذلك ، تزداد قيمة الجهد بين طرفي المقاومة R_E أيضا . وبالتالي عندما تقلص قيمة V_{in} ، تقلص أيضا قيمة V_o . مما ذكر سابقا ، يتضح أن طور إشارة الحرج المتردد يتفق مع طور إشارة الدخل . وعلاوة على ذلك ، حيث أن فرق الجهد المتردد بين القاعدة والباعث له قيمة صغيرة نسبيا ، فإن قيمة جهد الحرج المتردد تساوى تقريبا قيمة إشارة الدخل V_{in} أي أن قيمة كسب الجهد تساوى واحد بالتقريب ، وبالمعنى إلى أن قيمة جهد الدخل تساوى بالتقريب قيمة جهد الحرج ، يقال أن جهد باعث الترانزستور يقع ، التغيرات في جهد قاعدة الترانزستور . وهكذا تسمى هذه الدائرة تابع الباعث . ويطلق اسم توابع الجهد في بعض الأحيان على مجموعة الخواثر ذات الخواص السابقة .

وبالإضافة ، حيث أن تغذية مرتدة جهديه سالبة وعلى التوالي مسلطة ، فإن معاوقة الدخل لدائرة تابع الباعث تزيد كثيرا عن معاوقة الترانزستور وتصبح معاوقة الحرج لها صغيرة جدا في العادة بمسعة وحدات من الأوم .

وهذه السمات السابقة تجعل من تابع الباعث منفصرا مفيدا للعمل كمكبر صاد كسبه الوحدة ، ويوصف اسمه بالمكبر الصاد لأنه يفرض جهلا كهربائيا صغيرا جدا على مصدر إشارة الدخل ، ومع ذلك فإن معاوقة خرجة منخفضة بالدرجة التي تكفي لتمكينه من دفع التيار خلال معاوقة منخفضة نسبيا للحمل، الذي يمكن أن يكون خطا للإرسال مثلا .

ويوضح شكل ١٢ - ٥ صورة أخرى لتابع الجهد الذي يسمى تابع المصدر، ومن السمات الهامة لهذه الدائرة أن معاوقة دخلها تزيد حتى من معاوقة تابع الباعث ، ويمكن أن نحصل بسهولة على معاوقة للدخل في حدود بضعة وحدات من الميجا أوم .



شكل ١٢ - ٥ صورة من دائرة تابع المصدر في التطبيق العملي .

وقد أصبحت هذه السمعة من حقيقته أن ترانزستور التأثير المجالي (FET) يستخدم كمنظومة فعالة في المكبر .

ويشتق جهد الانحياز لترانزستور التأثير المجالي (FET) من دائرة الانحياز الذاتي المكونة من المقاومة R_G المتصلة على التوازي مع C_G والمتصلتين على التوالي مع الكترود المصدر . ويظهر جهد الانحياز بين طرفي المقاومة R_G نتيجة لانسحاب تيار السكون لترانزستور التأثير المجالي (FET) خلاله . ويبسط هذا الجهد على بوابة ترانزستور التأثير المجالي (FET) ، بواسطة المقاومة R_G ، التي تقع قيمتها في المدى من $1\text{ M}\Omega$ إلى $10\text{ M}\Omega$ هذا ولما عله مكثف التفويت C_G قيمة صغيرة بالنسبة إلى قيمة المقاومة R_G عند تردد التشغيل فيقوم المكثف بنهية دائرة قصر فعالة للتيار المتردد عبر R_G ، بحيث يتابع الحرج بكل دقة ما يحدث من تغيرات في إشارة الدخل ، والمكثفان C_1 و C_2 يعوقان مرور التيار المستمر ويسمحان بنقل إشارة الدخل والخرج V_{in} و V_{out} خلالهما بنقد صغير جدا .

وتؤدي الزيادة في قيمة الجهد V_{DD} في شكل ١٢ - ٥ إلى زيادة التيار المسالى خلال ترانزستور التأثير المجالي (FET) ومعه يزداد جهد الخرج . وكنتيجة لهذا ، نشع جهد طرف الخرج تغيرات إشارة الدخل ملتقريب .

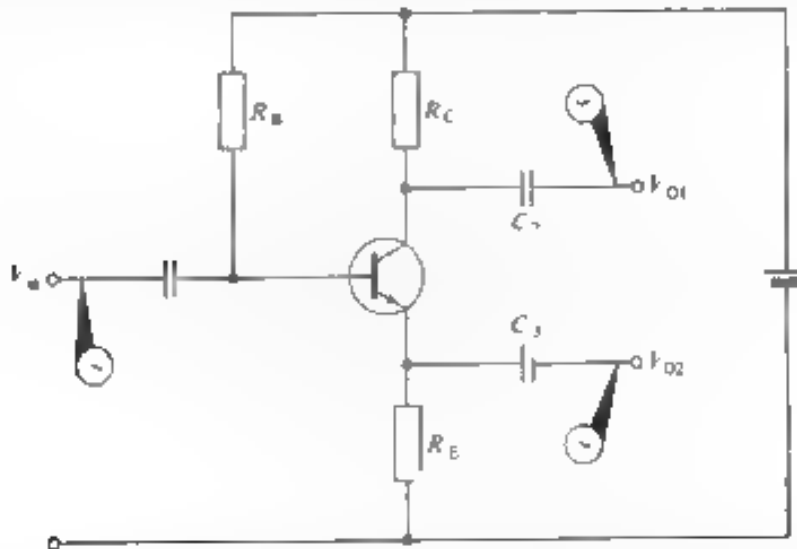
ويكتسب تابع المصدر السمات التالية والتي تشاركه فيها أيضا دائرة تابع الباعث .

- [أ] له كسب جهد يعادل الوحدة بالتقريب وهو مكبر غير عاكس للطور
- [ب] له معاوقة دخل مرتفعة
- [د] له معاوقة خرج منخفضة

١٢ - ٦ مكبر شطر الطور

تحتاج بعض التطبيقات الى دائرة لتردد اشارتي خرج منفصلتا الطور . وعلى سبيل المثال ، نحتاج المكبرات دفع - جذب [انظر الفصل الحادي عشر] الى اشارتين متساويتين في المقدار ومنفصلتين الطور بمقدار 180° . ومكبر شطر الطور يمثل احدي الدوائر التي تهيم خرجا من هذا النوع .

يوضح شكل ١٢ - ٦ مكره عمل كثير من مكبرات شطر الطور . ويستخدم في هذه الدائرة مقاومتي حمل هما المقاومة R_C في دائرة المصع والمقاومة R_E في دائرة الباعث . بحيث ان التيار المار في اى منهما يكاد أن يتساوى مع التيار الاخر والمقاومة R_E هي مقاومة انحياز تردود بمنطقة القاعدة فيلتر السكون والمكثفات C_1 ، C_2 و C_3 هما مكثفات متعة لهم قيم مفاعلة منخفضة عند تردد التشغيل



شكل ١٢ - ٦ دائرة عمل مكبر شطر الطور

وعندما تريد قيمة إشارة الدخل V_{in} ، فإن ذلك يؤدي الى قيمة التيار في كل من هذا المصع والباعث . وبالتالي ، يزداد ترق الجهد بين طرفي كل من R_E و R_C . وكنيجة لذلك تنخفض قيمة جهد المجمع (V_{O1}) وترداد قيمة جهد الباعث (V_{O2}) ، اى ان طورى V_{O1} و V_{O2} معضضان فيما طورا V_{O1} و V_{O2} متقابل . وفي دوائر كثيرة ، تتساوى قيمتا R_E و R_C . وحيث ان تغير التيار الناتج عن V_{in} متساويا في كلتا المقاومتين ، فإن قيمة كسب

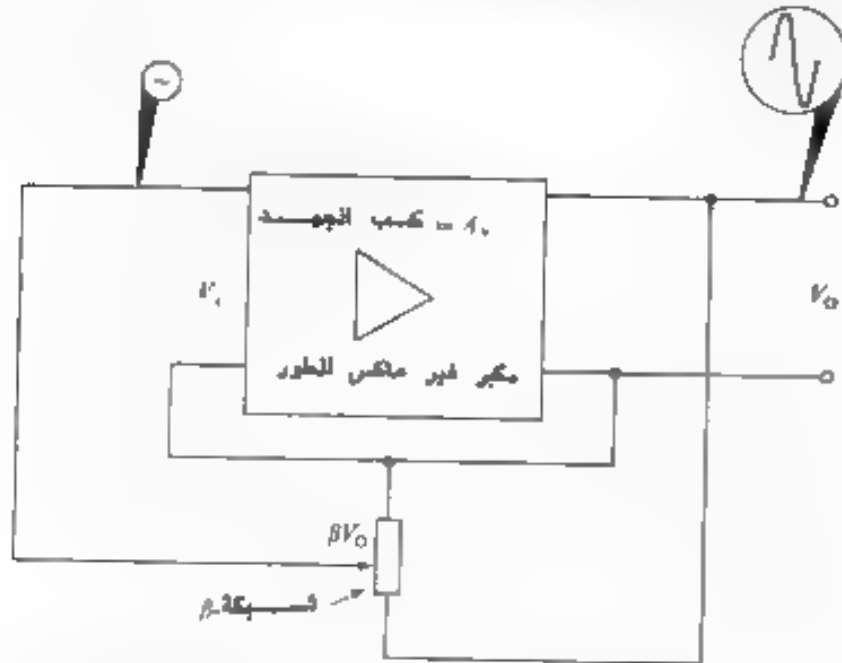
الجهد بين V_{in} و V_{O1} تتحدد نفس القيمة لكسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} بالتقريب وعلاوة على ذلك ، فبناء على مفعول تابع الباعث فإن قيمة كسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} تقارب الوحدة . أى أنه إذا كانت $R_C = R_E$ ، فإن كسب الجهد المعطى بالنسبة V_{O1}/V_{in} له قيمة تساوى حوالى 1 - والنسبة بين V_{O2}/V_{in} لها قيمة الوحدة بالتقريب .

وعلى الدائرة التى تتساوى فيها مقاومة كل من المجمع والباعث ، يجب أن يساوى جهد السكون من المجمع والباعث حوالى $0.75V_{CC}$ و $0.25V_{CC}$ على التوالى . ويسمح هذا باقتراب أقصى جهد للتأرجح بين طرفى كل مقاومة من حوالى 50% من جهد المصدر .

وإذا اختلفت قيمة مقاومة الباعث من قيمة مقاومة المجمع ، فإن كسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} يقارب الوحدة طبقاً لمفعول تابع الباعث ، أما قيمة الجهد V_{O1}/V_{in} فإنها تعطى بالنسبة R_C/R_E تقريباً . كمثل ، إذا كانت $R_C = 10\text{ k}\Omega$ و $R_E = 1\text{ k}\Omega$ فإن قيمة V_{O1}/V_{in} تصبح حوالى 10 .

١٢ - ٧ التفضية المرتدة الموجبة والاستقرارية

ملاحظ على الاعتبار عمل مكرر التفضية المرتدة فى شكل ١٢ - ٧ والذى يستخدم مكرراً غير عكس للطور ، تبع مثل هذا المكرر يتفق طور V_i مع طور V_o . كذلك ، يمكن التوصل على إشارة الدخل مباشرة من الفرج من طريق شبكة β ، لهذه الدائرة الموضحة .



شكل ١٢ - ٧ فكرة عمل دوائر التفضية الموجبة التى تستخدم تفضية مرتدة موجبة .

دعنا نفترض أن كسب الجهد A_v للمكبر هو $100 +$ وأن شبكة β متقلل أو مصعب هذه الإشارة بمعامل 0.01 قبل تسليطها على طرفى دخل المكبر . مبعلا عن ذلك ، لنفترض أن قيمة V_1 مصفه بمقداره مساوى $0.1 V$ حيث أن كسب الجهد للمكبر هو 100 ، فإن قيمة V_0 هي $10V = 100 \times 0.1$ وبمصب شبكة β هذا الجهد إلى $0.1 V = 0.01 \times 10$ وسيلاحظ القارئ أن قيمة جهد التغذية المرتدة إلى دخل المكبر يكاد يكافئ للحفاظ على قيمة قدرها $10V$ عند طرفى خرج المكبر . أى أنه من الناحية النظرية ، بظل جهود الدائرة بقيم $V_1 = 0.1 V$ و $V_0 = 10 V$ بدون حدود ، وبمرتب هذا بالاستقرار المشروط . غداً استفهرت المناقشة السابقة بالنسبة لقيمة أخرى للجهد $V_1 = 0.2 V$ ، سوف يصطر القارئ إلى استنتاج أن جهد الخرج سيعطل عند قيمة $20 V$. وفى الحقيقة فإنه فى حالة الاستقرار المشروط للدائرة ، فمن الممكن من الناحية النظرية أن تستطبع أى وكل قيمة من جهد الخرج أن تزود دخل المكبر الصحيح الذى يكاد يكفى للحفاظ على جهد الخرج ، عند القيمة الأصلية . ولكى يحدث هذا ، يتخضم أن تكون قيمة كسب الجهد للدائرة الكهربائية الكلية المحتوية على المكبر والشبكة β هي الوحدة .

$$A_v \beta = 1$$

وفى الحالة السابقة $A_v = 100$ و $\beta = 0.01$ مما يعطى قيمة للكسب الاطارى متعادل الوحدة .

وفى التطبيق العملى ، فمن النادر أن تلعب القبة اللحظية للكسب الاطارى ما تعادل الوحدة ، كما سيوضح فيما يلى : فالدائرة العملية من الطراز الموضح فى شكل ١٢ - ٧ ، يتم تصميمها بحيث تصبح قيمة كسبها الاطارى عند محرد توصيلها اكبر من الوحدة . كمثال ، اذا كانت القيمة الابتدائية لكسب المكبر A_v تساوى 110 وكانت قيمة β تساوى 0.01 ، فإن القيمة الابتدائية للكسب الاطارى تساوى 1.1 . وتمت هذه الظروف تزيد إشارة التغذية المرتدة إلى دخل المكبر عن القيمة المطلوبة للحفاظ على جهد الخرج عند قيمة ثابتة . ومن ثم ، يبدأ جهد الخرج ومعه إشارة التغذية المرتدة إلى طرفى الدخل فى الزيادة أيضاً . ولن يمكن الحفاظ على هذه الحلقة بدون حدود ، حيث أن زيادة جهد الدخل تؤدي فى النهاية إلى اقتراب الترانزستور عند دخل المكبر إلى حالة التشبع . وعندما يحدث هذا ، ينخفض كسب الجهد للمكبر ومعه ينحصر وينفس المعدل جهد الخرج . واحيراً يكف جهد الخرج عن الزيادة ، وفى لحظة واحدة . يسمح جهد الخرج ثابتاً ، وبعد هذه اللحظة من الزمن ، يؤدي أى تشويش صغير فى الدائرة [وهذا يقع باستمرار] إلى بدء هبوط جهد الخرج من مستواه المرتفع . وتنبط أيضاً إشارة التغذية المرتدة V_1 إلى دخل المكبر، محطاً بذلك انخفاض جهد الخرج . وفى النهاية ، يهبط جهد الخرج إلى نقطة تسبب عندها إشارة التغذية المرتدة أن يقترب الترانزستور عند مدخل المكبر إلى حالة القطع . مرة أخرى ، ينخفض كسب الجهد للمكبر ويتناقص معدل انخفاض جهد الخرج حتى يصبح فى النهاية وعند لحظة معينة ثابت القيمة . وبطريقة تكافئ تكون فورية ،

يبدأ جهد الحرج في الازدياد مرة أخرى ، ويتكرر التسلسل ابوضح سابقا بدون حدود .

وهكذا تؤدي التغذية المرتدة الموجبة بدرجة كلية الى تنبذب جهد الحرج بطريقة مستمرة وتكون الدائرة في شكل ١٢ - ٧ اسفلا لاشكال كثيرة لدائرة يتسبب مرتدة التغذية . وفي كثير من هذه الدوائر ، تحتوي شبكة ارتداد التغذية على مقاومات ومكثفات ، وفي البعض الآخر ، تحتوي على ملفات ومكثفات . وينحد الشكل الموحي لجهد الحرج في بعض المذبذبات شكلا حبيبيا وفي البعض الآخر يمكن ان يكون على شكل موجات مربعة او مثلثة .

وبالرغم من انه لكي يبدأ التذبذب ، يجب ان يكون للدائرة كسب اطاريا (أي قيمة حاصل ضرب $A\beta$) تزيد قيمته عن الوحدة ، الا انه يتحتم لمجرد القيمة المتوسطة للكسب الاطاري اي تساوي الوحدة عبر الدورة الكاملة من اجل الحفاظ على استمرارية التذبذب . فحالما تقدا تذبذبات جهد الخرج تصبح قيمة الكسب الاطاري منتظمة تلقائيا لتعطي قيمة متوسطة تساوي الوحدة عبر الدورة الكاملة .

١٢ - ٨ دوائر مذبذبات المقاومات والمكثفات

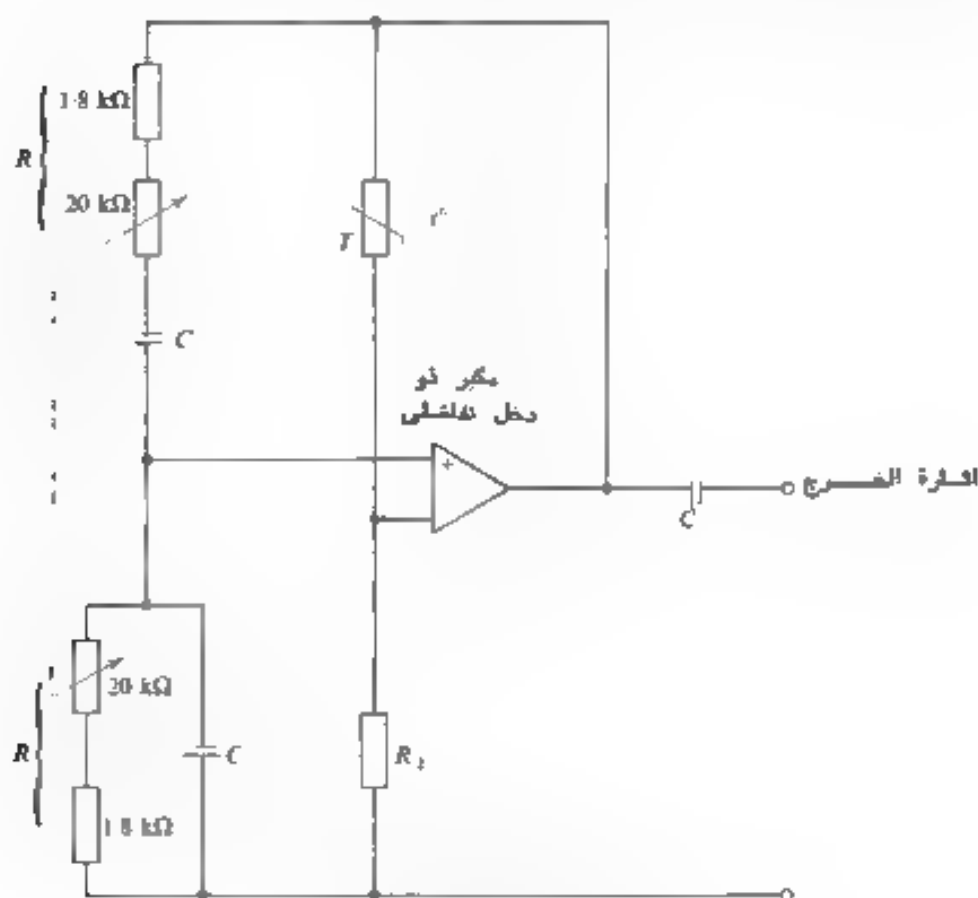
مذبذبات المقاومات والمكثفات هي دوائر تغذية مرتدة موجهة تستخدم مجموعة من المقاومات والمكثفات في شبكة ارتداد التغذية . والمميزات الرئيسية لمذبذبات RC بالنسبة للأنواع الأخرى في المدى الترددي من 1 Hz الى 1 MHz ، هو توامر امكانيات التحصيل على قيم مناسبة للمقاومات والمكثفات . ووظيفة شبكة ارتداد التغذية RC هو تأكيد ان التغذية المرتدة الموجبة مسلطة الى المكبر ، قد ارتدت الى المكبر .

ولتنفيذ ذلك ، تدعم الشبكة اراحة لطور الاشارة المسلطة عليها ، ومتبعة لتلك الحقيقة ، تسمى الدوائر من مثل هذا النوع باسم مذبذبات اراحة الطور .

ويوضح شكل ١٢ - ٨ النوع الشائع جدا لدائرة مذبذب RC تعرف باسم مذبذب قنطرة فين . وقد اخذ اسم قنطرة فين نظرا لتشابه دائرة المكثفات والمقاومات عند دخل المكبر مع دائرة قنطرة كهربائية تعرف بقنطرة فين (١٠.٥)

في هذه الدائرة ، يستخدم مكبر ذو دخلين منفصلين ، وسيعطى هنا مجرد وصف مختصر للمكبر ، حيث اننا سنتعرض له بالتفصيل في الفصل الرابع عشر . يتفق طور اشارة جهد المخرج من المكبر مع طور الاشارة المسلطة على طرف المير - ماركسي [وعليه العلامة +] ولكنه يفسد طور الاشارة المسلطة على طرف الدخل الماركسي [وعليه العلامة -] . وتؤثر اشارة التغذية المرتدة المأخوذة من خرج المكبر على كل من طرفي الدخل ، فالاشارة المؤثرة على طرفي الدخل + تسلط تغذية مرتدة موجبة على الدائرة بينما

الإشارة المؤثرة على طرف الدخل - تسلط تعديبة مرتدة سالبة . ويحدد قيم مكونات الدائرة . بحيث يعطى تأثير الإشارة المسلطة على الدخل β وتسلط تعديبة مرتدة موجبة أجمالية لتؤدي إلى حدوث التعديبات .



شكل ١٢ - صورة شماعة للتعديبات تقطعة بين

وتتكون المقاومة R في كل من حرتي RC من عنصرين كما يلي : يستخدم جميع المقاومتين التوأم المتغير كوسيلة . للتحكم في التردد ، ويضمن المقاوم الثابت $1.8 k\Omega$ لتأكيد أن القيمة الكلية للمقاومة في الدائرة لن تنخفض إلى الصفر عندما تقل قيمة المقاومة المتغيرة إلى الصفر . ومع قيم المقاومات الموضحة في الشكل ، يمكن تغيير تردد التعديب الدائرة على مدى ترددي يزيد قليلاً عن $10 : 1$. ويعطى تردد تعديب الدائرة من العلاقة

$$f_0 = 1/6.28RC \text{ Hz}$$

حيث تعطى قيمة R بالأوم وقيمة C بالميكروفراد . ملدا كانت قيمة $C = 0.5 \mu F$ فإن قيمة تردد التعديب للدائرة تقع في المدى من حوالي 15 Hz إلى حوالي 180 Hz . هذا ويؤدي انقاص قيمة المكثف C لتبعية تسلاوي $0.05 \mu F$ إلى أن يصبح تردد التعديب بين 150 Hz إلى 1800 Hz . ومن الممكن بناء مضرب بسيط باستخدام مكبر تشغيلي من النوع 741 (انظر

الفصلين الثاني عشر والرابع عشر] . مع ترمستور (T) طراز R 53 ومقاومة (R_1) قيمتها 470Ω .

ووظيفة الترمستور T والمقاومة R_1 بالنسبة للمذبذب هي توفير استقرار جيد لسعة جهد الخرج . وسيوضح فيما يلي الطريقة التي تهيئ بها هذه المكونات استقرارا لسعة الجهد .

فإذا حنحت قيمة ج.م.م جهد الخرج الى الريادة ، من التيار المنسلب خلال الترمستور يزداد أيضا ، ويؤدي تأثير الحرارة الذاتية للتيار المنسلب في الترمستور الى انخفاض قيمة مقاومتها وهكذا تسلط حزا اكبر من جهد الخرج على طرف الدخل للمكبر ، وحيث ان اشارة الدخل هذه تسلط تغذية مرتدة سالبة على الدائرة ، فل تأثيرها يؤدي الى اقلال كسب الجهد الاحتمالي للمكبر والنسبة النهائية هي عودة سريعة لقيمة ج.م.م جهد الخرج الى قيمة الترب الى الصحة .

وتستخدم مذبذبات قنطره تين مكررة في المعامل ، ونهيى اشارة جيبية مستقرة مع تشوه قليل جدا .

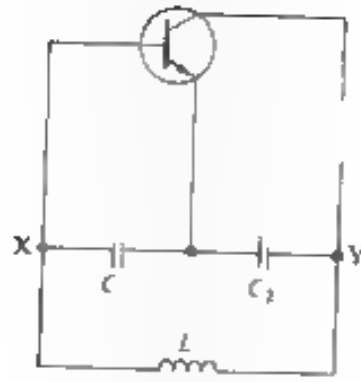
١٣ - ٩ دوائر مذبذبات المحاثات والمكثفات

مند الترددات المرتفعة جدا ، اى اكثر من حوالى $1MHz$ ، تنوق المذبذبات التي تستخدم المحاثات والمكثف لدوائر تخفيفها المربعة ، تلك المذبذبات التي تستخدم المقاومة والمكثف .

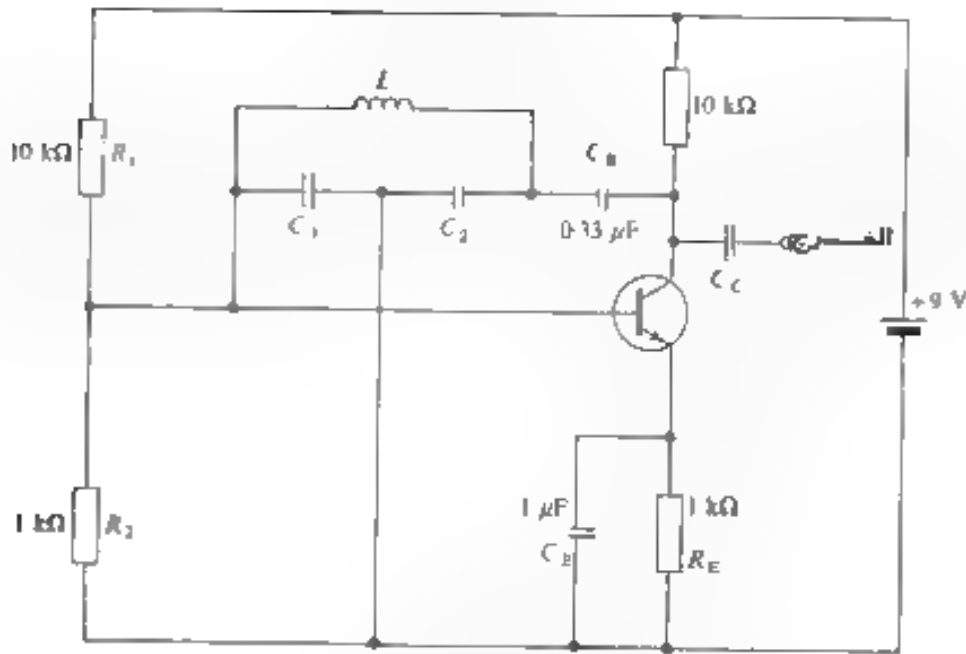
ويوضح شكل ١٣ - ٩ احدى صور مذبذب LC المعروف بمذبذب كولبيتس . ويبين الرسم التخطيطي في شكل ١٣ - ٩ القواعد الرئيسية لهذا المذبذب . اد تحدد قيمة تردد تذبذب الدائرة بتردد الرنين للدائرة المحتوية على الملف L والمكثف C_1 و C_2 . وفى هذه الدائرة ، تريد سعة المكثف C_1 كثيرا عن قيمة المكثف C_2 ، وحيث ان المكثفين متصلين على التوالي ، فان السعة الفعالة للمكثفين تساوى بالتقريب سعة المكثف C_2 [انظر الجزء ٢ - ٧ من الفصل الثالث ايضا] . ونتيجة لذلك ، تعطى القيمة التقريبية لتردد الرنين للدائرة بالعلاقة

$$f_0 \approx 1/6.28\sqrt{LC_2} \text{ Hz}$$

حيث تحدد قيمة L بالهنرى و C بالميكروفراد .



[أ]



[ب]

شكل ١٢ - ٩ (أ) أساس عمل مطلب كوابيس و (ب) أحد أشكال الدائرة المستخدمة في التطبيق العملي .

هذا ودائرة LC بين النقطتين X و Y في شكل ١٢ - ٩ [أ] هي عبارة عن دائرة توازي لها معاوقة مرتفعة جدا عند حالة الرنين . وبشارك المكثفان C_1 و C_2 الجهد عبر الدائرة ، فيسلط الجهد بين طرفي المكثف C_1 على دخل الترانزستور أي بين القاعدة والباعث . وتحدد علاقة الطور بين جهدي القاعدة والمجمع بحيث تسقط تغذية مرتدة موجبة على الدائرة وتتواجد الأحوال المصيبة المهيئة للتذبذب .

ويوضح شكل ١٢ - ٩ شكلا لدائرة مستخدمة في التطبيق العملي وتدعو الحاجة إلى المكونات R_1 و R_2 و C_3 لفرض الاستقرار والاستقرار الحراري ، كما تدعو الحاجة إلى المكثفين C_C و C_E لأغراض إعاقة التيار

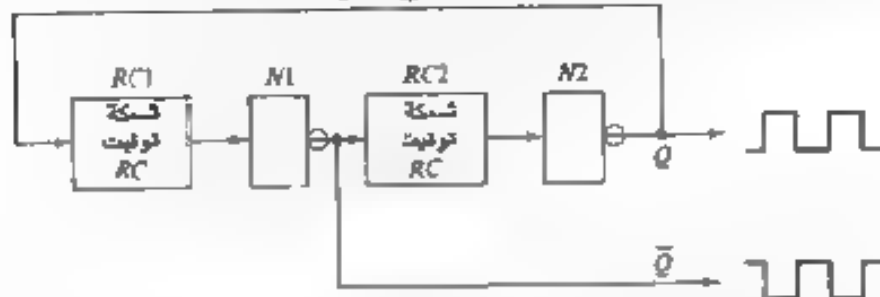
المستمر . وتصنع الشبكة التي تحوى الحثا L والمكثبين C_1 و C_2 هي ذلك الجزء من الدائرة الموضحة في شكل ١٣ - ٩ [ب] الذي يحدد قيمة التردد حيث يحقق كل عنصر منها الوظائف الموجزة في شكل ١٣ - ٩ [١] .

ومن الممكن استخدام هذا النوع من الدوائر لتوليد ترددات في المدى ما بين التردد السمي وعدة جيجا هيرتز [1GHz = مائون كيلو هرتز] .

١٣ - ١٠ المذبذبات متعددة التوافقيات الغير مستقرة

ان المذبذب متعدد التوافقيات الغير مستقرة او المذبذب متعدد التوافقيات مطلق الحركة هو عبارة عن دائرة نهية من خرجة شبكلا موجيا مريعا ١ او يقترب من ذلك [. ونساوي القيمة الابتدائية لحد الحرج Q . من الدائرة الصفر والفترة من الزمن تحدد بواسطة شبكة التوقيت RC ، تردد بعدها الى قمة اعلى من الجهد . ويظل الخرج عند المستوى المرتفع من الجهد لفترة من الزمن تحدد بواسطة شبكة التوقيت RC التامة ، تهبط قيمة الحرج بعدها الى الصفر مرة اخرى وتكرر هذه الدورة من الاحداث بدون حدود .

ومن الممكن شرح فكرة عمل هذه الدائرة بالاستعانة بالرسم التخطيطي في شكل ١٣ - ١٠ . يتكون المذبذب متعدد التوافقيات [المتعدد الاهتزازات] من بوابتي NOT هما $N1$ و $N2$ بطلقة للنمذية المرتدة الموجبة تحتوى على شبكتي توقيت RC هما $RC1$ و $RC2$ على الترتيب .

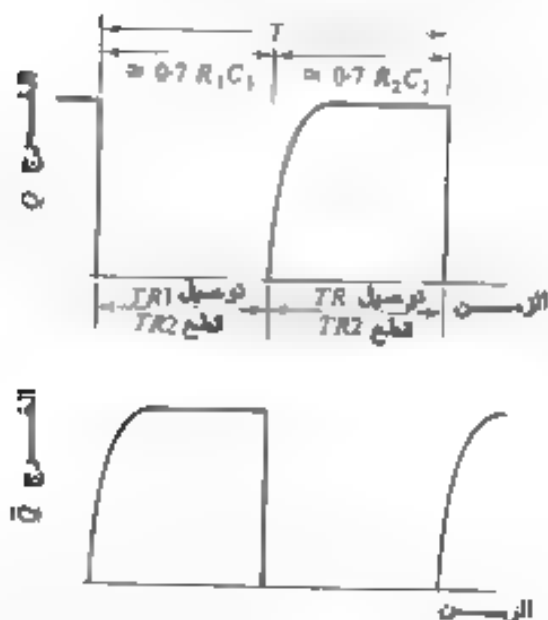
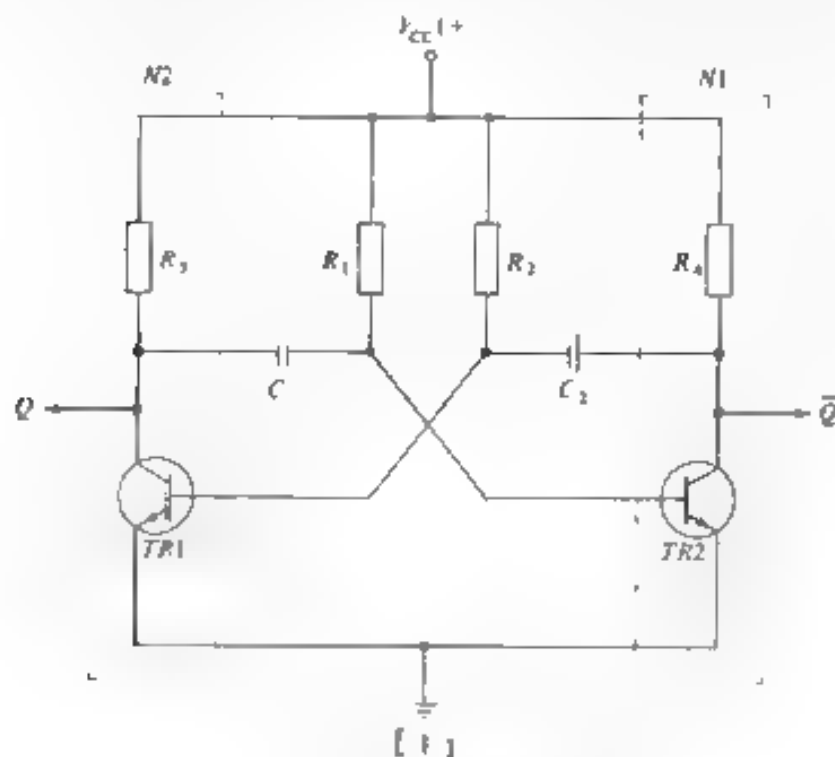


شكل ١٣ - ١٠ فكرة عمل المذبذب متعدد التوافقيات [المتعدد الاهتزازات] .

وتعطى شبكات التوقيت درجة التأخير المشار اليها سابقا ، ويتم كل من الخرجين Q و \bar{Q} من البوابتين $N1$ و $N2$ على الترتيب معضهما البعض . بمعنى انه عندما يكون الحرج Q مرتفعا او عند المنطق «1» فل الخرج Q يصبح منخفضا او عند المنطق «0» .

ويوضح شكل ١٣ - ١١ الصورة الشائعة لهذه الدائرة في التطبيق العملي . وبمقارنة هذه الدائرة مع شكل ١٣ - ١٠ يتضح ان بوابة الالاساح في الشكل الاخير تتكون من الترانزستور $TR2$ والمقاومة $R4$ في شكل ١٣ - ١١ ، وتتكون البوابة $N2$ من الترانزستور $TR1$ والمقاومة $R3$ وتشمل

دوائر التوقيت $RC1$ و $RC2$ في شكل ١٣ - ١٠ المكونات R_1C_1 و R_2C_2 على الترتيب ، في شكل ١٣ - ١١ . تؤكد التوصيلات الداخلية ، بين البوابتين أنه عندما ينشبع الترانزستور $TR1$ فإن الترانزستور $TR2$ يصبح في حالة القطع والعكس بالعكس ومرة قطع الترانزستور $TR1$ تسبب إلى درجة كبيرة جداً $0.7R_2C_2$ ثانية R بالأوم و C بالفاراد لو R ميغاأوم و C بالميكروفاراد ، وتسبب مرة قطع الترانزستور $TR2$ إلى درجة كبيرة جداً $0.7R_1C_1$ ثانية . وفي دوائر كثيرة يصبح من المناسب استعمال قيمة موحدة للتقاومين بحيث أن $R_1 = R_2 = R$ وبالمثل توحيد



شكل ١٣ - ١١ [١] الدائرة المستخدمة لتوليد نبضات التوقيت و [ب] الشكل الموجبة للخروج .

قيم المكثفين ($C_1 = C_2 = C$) والزمن الدوري T للتذبذب في هذه الدائرة هو

$$T \approx 1.4RC \text{ seconds}$$

وتردد التذبذبات هو

$$f_0 = 1/T \approx 1/1.4RC$$

فمثلا اذا كانت $R = 10 \text{ k}\Omega$ (أو $0.01 \text{ M}\Omega$) و $C = 0.01 \mu\text{F}$

$$T = 1.4 \times 0.01 \times 0.01 = 1.4 \times 10^{-4} \text{ s} \quad \text{فإن}$$

$$f_0 = 1/T = 1/(1.4 \times 10^{-4}) = 7143 \text{ Hz} \quad \text{و}$$

وفي الحقيقة ، يحتمل ان يختلف تردد التذبذب للخروج قليلا عن القيمة المحسوبة سابقا ، وتتضمن الاسباب ان قيم المقاومة والمكثفات لا تحيد عن قيمتها الاسمية بحسب بل ان مصدر الجهد ومتغيرات الترانزستور تتعرض هي الاخرى للمثل الى تغيرات مع الزمن ودرجة الحرارة . وبالرغم من ذلك نلحظ من الممكن الاعتماد على هذه الدائرة في التشغيل وانها تستخدم كمولد للموجة « المربعة » .

وسيلحظ القارئ انحناء للاطراف المتقدمة لاشكال موجة الخرج [شكل ١٢ - ١١] . ويمكن تحسين هذا الانحناء بحمل تعديلات في الدائرة لتعطي موجة تكاد تقترب من الموجة المربعة المثالية ، وتحسن هذه التعديلات ايضا من امكانية الاعتماد على دقة توقيت الشكل الموجي .

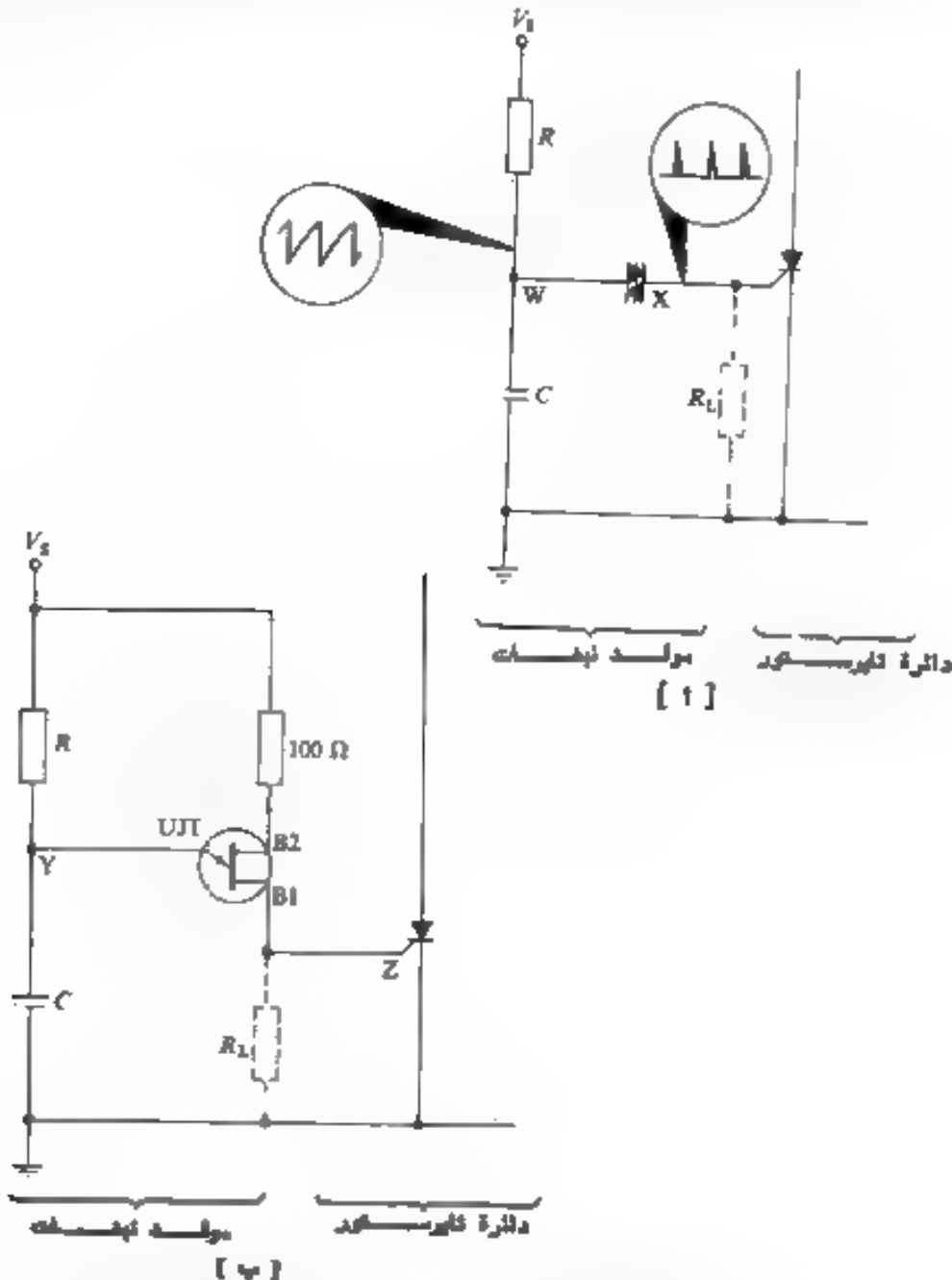
١٢ - ١١ مولدات النبضات

منصف هنا دائرتين متشابهتين لتوليد نبضات لدوائر بوابة الترانزستور وتستخدم هاتين الدائرتين في تطبيقات كثيرة ابتداء من محاسب القدرة للتلفزيون الملون الى التحكم في سرعة ماكينة الدلفنة . وتعتمد كلتا الدائرتين جزء من مجموعة كبيرة تعرف بنبضات القراح ، التي تولد موجات غير جيبيية عن طريق الشحن التدريجي للمكثف ثم تفريغه سريعا .

ويشحن المكثف في كلتا الحالتين الموصحتين في شكل ١٢ - ١١ ، من مصدر الجهد V_s عن طريق المقاومة R . ويعطي هذا الجزء من الدائرة قسم الشحن التدريجي ، علما بان تدريجي هي كلمة نسبية لان المكثف يمكن ان يشحن الى اقصى قيمة له في 0.0003 s فقط ! ، وقد وصل بين طرفي المكثف دائرة مفتاح حساسة للجهد تشتمل على دايك في الرسم التخطيطي [١] وعلى ترانزستور احادي التوصيل (UJT) في الرسم التخطيطي [ب] ويقوم المكثف بالتفريغ بسرعة [في حوالي $10 \mu\text{s}$ مثل هذا النحو] لئلا في بوابة الترانزستور ، كما هو موضح بالخط المتقطع في الرسوم التخطيطية ،

أو في مقاومة الحمل [مبينة بخط متقطع] . وسيوضح فيما يلي وصف مختصر لعمل هذه الدائرة .

على الحالة المبينة في شكل ١٢ - ١٣ [١] ، يجب أن تزيد قيمة جهد المصدر دائماً من جهد انهيار الدياك V_{BR} . وفرض أن المكثف C كان مفرغاً في البداية عند توصيل المصدر ، فإن الجهد بين طرفي المكثف يبدأ في الزيادة بمعدل يتوقف على قيمتي جهد المصدر والمقاومة R . وبعد قليل



شكل ١٢ - ١٣ دوائر مولد نبضات تستخدم (١) ذلك [ب] فرائز سكر الجدي التوصيل

من الوقت عادة بضعة وحدات من الميلي ثانية أو أقل [١] ، يصل الجهد عند النقطة W الى جهد انهيار الدايك ، مولد نبضات .

وعندما يحدث هذا ، سرعان ما يقوم الدايك بتفريغ جزء من الطاقة المخزونة في المكثف في بوابة الثايرستور ، مما يحول الثايرستور الى حالة التوصيل . وبمجرد أن يفرغ المكثف جزء من شحنته ، لن يستطيع جهد المكثف أن يحافظ على استمرارية حالة توصيل الدايك ، فيهبط التيار التفريغ للمكثف الى الصفر عندما يتحول الدايك الى حالة القطع بمجرد يبدأ المكثف في الشحن مرة أخرى وتتكرر هذه الدورة . وشكل الجهد الموجي عند النقطة W عبارة عن سن المشار برمن دورى يعادل الفترة الزمنية بين نبضى تفريغ ويتخذ الشكل الموجي عند النقطة x شكل سلسلة من النبضات لها مدة لقاء بضعة وحدات من الميكروثانية وتصلح لاطلاق توصيل معظم أنواع الثايرستور .

ويمكن استخدام دائرة الدايك في شكل ١٣ - ١٤ [١] مع مصدر جهد متردد ، وفي هذه الحالة ، تقوم أثناء النصف الموجب للاشكال الموجية لجهد المصدر بتوليد شكل موجي لسن المنشار ذي اتجاهية موجبة عند النقطة وسلسلة نبضات ذات اتجاهية موجبة عند النقطة x . أما في أثناء النصف السالب للدورات فلها تولد اشكالا موجية لسن المنشار وللسلسلة من النبضات ذات الاتجاهية السالبة عند النقطة W ، X على الترتيب . عندما يستخدم الدايك على هذا المنوال ، فلن يصبغ ملائما لفرض التحكم في الدايك [انظر الفصل الخامس عشر] المستخدم في دائرة التير المتردد .

وتعمل دائرة الترانزستور احادى التوصيل (UJT) المبينة في شكل ١٣ - ١٤ [ب] بصفة عامة بأسلوب مماثل لدائرة الدايك ، وعند ارتفاع الجهد بين طرفى المكثف الى نقطة الجهد الدروى للترانزستور احادى التوصيل ، سرعان ما تفرغ شحنة المكثف المختزنة في بوابة الثايرستور . مرة أخرى تستغرق فترة التفريغ بضعة وحدات فقط من الميكروثانية . هذا ويعمل الترانزستور احادى التوصيل الموضح بالشكل على مصدر للجهد ذي قطبية موجبة ، ويقوم بتوليد اشكال موجية لسن المنشار والنبضات ذات اتجاهية موجبة عند النقطتين Y و Z على الترتيب .

الفصل الرابع عشر

دوائر المكبر التشغيلي

١٤ - ١ ما هو المكبر التشغيلي ؟

يختصر اسم المكبر التشغيلي في اللغة الإنجليزية الى op — amp. وببساطة هو مكبر خطي ذو تقارب مباشر ، له قيمة كسب جهد مرتفعة [عادة اكبر من 1000] .

قدمت من قبل ملاحظة مختصرة عن سمة من سمات المكبر التشغيلية تتضمن وجود طرفي دخل وعلامتي « + » و « - » في دائرته الرمزية بشكل ١٤ - ١ [ا] وتتعلق تطبيقية الاشارتين معالقات الطور بين كل اشارة دخل واشارة خرج ، كما هو موضح في شكل ١٤ - ١ [ب] . اد توضح هذه الرسوم ان طور اشارة الحرج يتفق تماما مع طور الاشارة المطلقة على الدخل [بالعلامة +] ، الذي يعرف بالدخل الغير عاكسي ، وبضاد الاشارة المطلقة على الدخل [بالعلامة -] ، ويعرف بالدخل العاكسي .

يوضح شكل ١٤ - ١ [ج] اكثر السحوائر التكاملية الخطية شيوعا وهو المكبر التشغيلي 741 . الذي يمكن التحصل عليه في المجموعة ثنائية الخطوط ذات الثنائية اطراف . ويستخدم في توصيل المكبر التشغيلي سبعة اطراف فقط من الثنائية حيث لا يستخدم طرف واحد منها . والدائرة التخطيطية للمكبر التشغيلي 741 معقدة حقا ، وقد سبق ان عرضت في الفصل الثاني عشر [شكل ١٢ - ٩] .

وهناك سمة لا تدعو الى الارتياح لكثير من المكبرات التشغيلية تتمثل في انسيابي جهد الحرج من قيمته ببطء مع الزمن ومع التعبير في درجة الحرارة . وينتج هذا لانسيابي بوحه عسلام من التغيرات داخل المكبر ، ويؤدي الى جهد الاراحة الذي يظهر عند خرج المكبر . ومن الممكن معادلة جهد الاراحة هذا بالبد بتوصيل مفرق RV كما هو موضح في الرسم [ه] ، حيث تنفذ عملية المعادلة بتبسيط جهد قيمته سفر على كل من خطي دخل

الإشارة في نفس الوقت ، ويصبط موضع منزلق الإراحة الصغرى حتى تقل قيمة جهد التيلار المستمر عند خرج المكبر إلى الصفر . وعند الاستعمال ، تدعو الحاجة لعملية المعادلة هذه على مجرد فترات متباعدة . وفي بعض الحالات ، يمكن حذف مغرق الإراحة الصغرى ، لكننا ننصح بالتشاور مع معنى المكبر التشغيلي إذا ما اتجهت النية إلى ذلك .

وكسب الجهد عند الترددات المنخفضة للمكبر التشغيلي 741 مرتفع جدا حيث يبلغ حوالي 100 000 عند ترددات في المدى من صفر [تيلار مستمر] إلى 10 Hz ، كما هو موضح بمحلى الاستجابة للتردد في شكل ١٤ - ١ [د] ، وإلى جوار هذه القيمة من التردد (10 Hz) ، ينقص الكسب بمعامل عشر مرات كلما زاد التردد بمعامل عشر مرات .

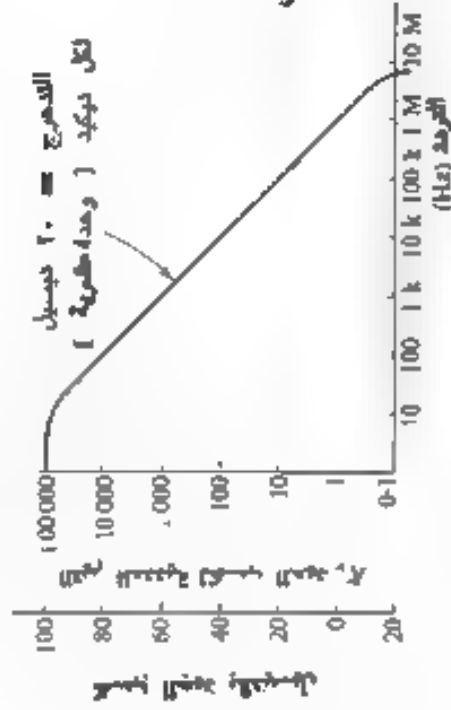
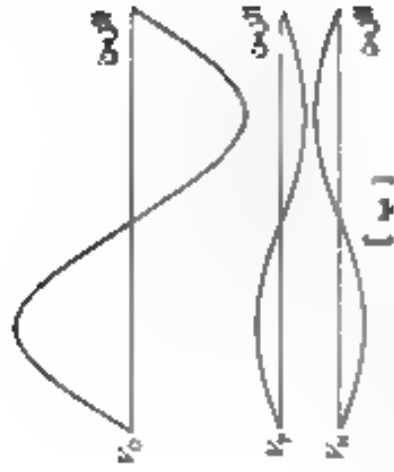
ويستمر هذا المعدل في التدهور مما يكفىء انخفاضاً في كسب الجهد مقداره 20 ديسيبل لكل وحدة عشرية من تغير التردد [إلى أعلى حتى نصل إلى تردد يقترب من 10MHz ، حيث يكون كسب الجهد قد انخفض إلى حوالي 0.1 ويقترب من هذه النقطة ، ينخفض الجهد سرعة أكثر .

ومن المكن خلال التشغيل أن تستخدم أطراف داخل واحد أو كليهما في الدوائر البسيطة التي تحتاج استخدام طرف نقل واحد فقط ، يوصل الطرف الآخر بالنقل عادة بالقاعدة المعدنية للمعدات [أو إلى الخط الأرضي] لها مباشرة أو خلال مقاومة . وسنزيد القول من ذلك فيما بعد .

مواصفات وحدتى مكبر تشغيلي تقليديتين . يعطى جدول ١٤ - ١ قيم المتغيرات الأكثر أهمية للمكبر التشغيلي 741 ، الذي يستخدم وحدات شاملة من ترانزستور ثنائى القطب ، وكذلك المتغيرات لطراز مشابه من المكبرات التشغيلية بوحدات ترانزستور التأثير المجالى عند الدخل .

جدول ١٤ - ١ الكميات المتغيرة القيمة المهمة لتوصى المكبر التشغيلي

مكبر تشغيلي يستخدم ترانزستور التأثير المجالى		المكبر التشغيلي
مصادر الجهد	± 3 V to ± 18 V 30 V 0-70°C	± 6 V to ± 18 V 30 V 0-70°C
أقصى جهد تقلوت الدخل	غير محدد	غير محدد
مدى درجة حرارة التشغيل	غير محدد	غير محدد
فترة بقاء دائرة قصر الخرج	غير محدد	غير محدد
أدنى قيمة للحمل الموصل	غير محدد	غير محدد
أقصى قدرة كلية مسعدة	غير محدد	غير محدد
تأرجح جهد الخرج	غير محدد	غير محدد
كسب الجهد عند الترددات المنخفضة	غير محدد	غير محدد
المقاومة بين طرفى الدخل	غير محدد	غير محدد

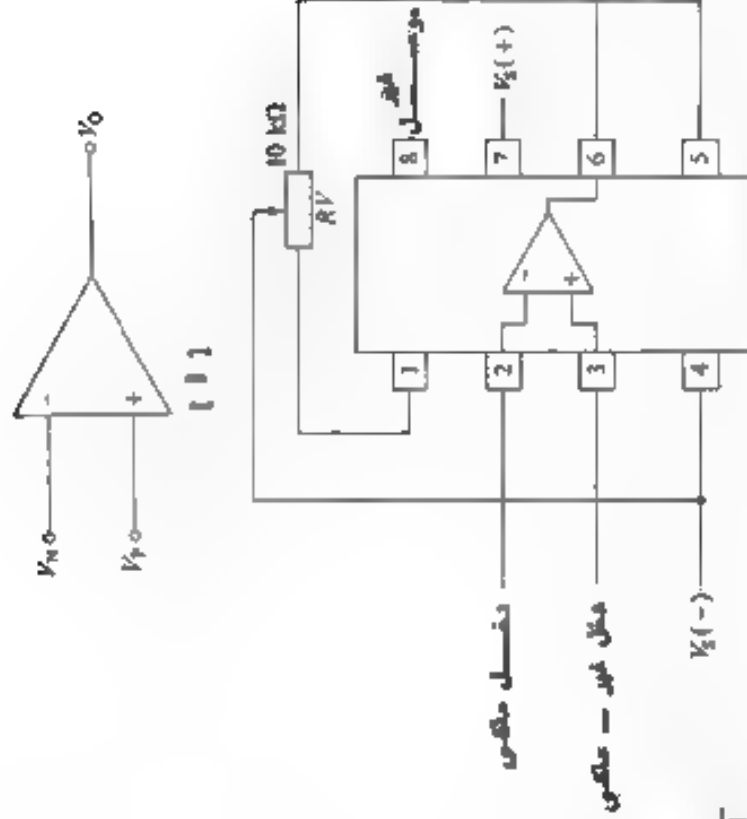


[٢]

١٢

شكل ١٤ : [١] ربط الدائرة باستخدام مكبر [تشغيل] [ب] التثبيت المرغوبة لكل من الدخل والمخرج للاشارات العنينة (هـ)
 مجموعة تلافية الخطوط ذات القطبية اطراف التي تحوى المكبر التشغيلي المتعلق 741 ويوضح عليه دائرة تفاعل الترددات و [د]
 ينعني الاستجابة للتردد للمكبر التشغيلي

المخرج



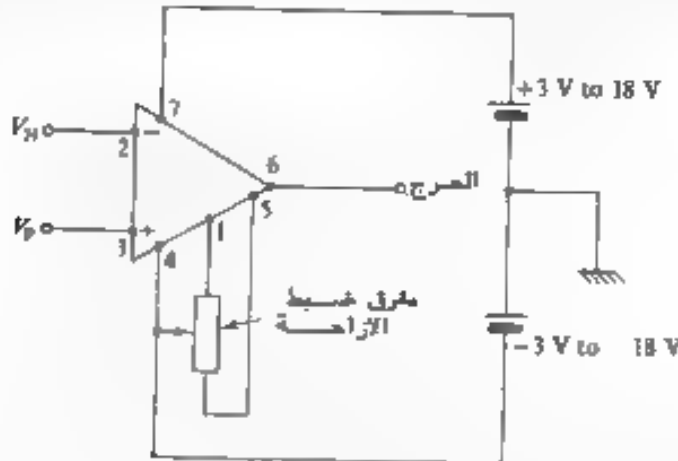
للمجموعة تلافية الخطوط ذات القطبية اطراف هـ

[٣]

ولسوف يلاحظ القارئ أن مدى جهد المصدر لاهدين النوعين يتفق بالتقريب ، ويوضح شكل ١٤ - ٢ تربية لدائره مصدر تقليديه للمكبر التشغيلي 741 ومن الممكن الحصول محاربا على مصادر قدره خاصة لمكرات الدوائر التكاملية الحظية لتعطى جهدي حرج احدهما بمطبيه موجبه والاخر مقطعه سالبه ، يمكن ضبط قيمة كل منهما على حدة ، وبالمثل ما يضم هذه المصادر سيات كلتي يومر وقائه ضد قصر دوائر الحرج وضد محاور جهود الحرج (انظر ايضا الفصل الخامس عشر) .

وتصبح اشارة الدخول الكلية المسطحة على المكبر هي فرق الجهد بين V_N و V_P [انظر شكل ١٤ - ٨] ويعرف هذه الاشارة على انها **تفاوت جهد الدخول** . ونتيجة لذلك ، يعرف مثل هذا الطرار من المكبرات ايضا باسم **مكبر تفاوت الدخول** . وبالنسبة لكلا المكبرين التشغيليين ابدحين تؤمن الوقاية ضد دائرة التمر داخل المكبرات حتى لا تتلف عند حدوث دوائر قصر للارض عند خرج الاطراف .

وتمثل قيمة مقاومه الدخول بين طرفي الدخول متصرا هاما الى حد ما وعلى وجه الخصوص عندما يستخدم المكبر التشغيلي مع مكامل الكترولس [انظر فصل ١٤ - ٨] . ولسوف يلاحظ القارئ أن قيمة مقاومة الدخول لدخول المكبر التشغيلي من نوع ترانزستور التأثير المجالي [انظر آخر سطر من جدول ١٤ - ١] تعادل حوالي الف ملبوس مرة مثلتها للمكبر التشغيلي 741 ثنائى القطب . ولكن يتم تشغيل دائرة ما كإداة تكامل على وجه مرمى ، مانه يصبح من المرجح ان يتحدد مقاومة الدخول فيه على اقصى درجته ممكنة من الاربعاساع [يجب أن تتساوى ما لانهية من الوجهة النظرية] . نشاء على ذلك ، تعتبر المكبرات



شكل ١٤ - ٢ توصيلات المصدر وتفاصيل الاشارة للمكبر التشغيلي 741 .

التشغيلية عند الدخول من طرار ترانزستور التأثير المجالي اكثر ملائمة في استخدامات دوائر التكامل الالكترونية .

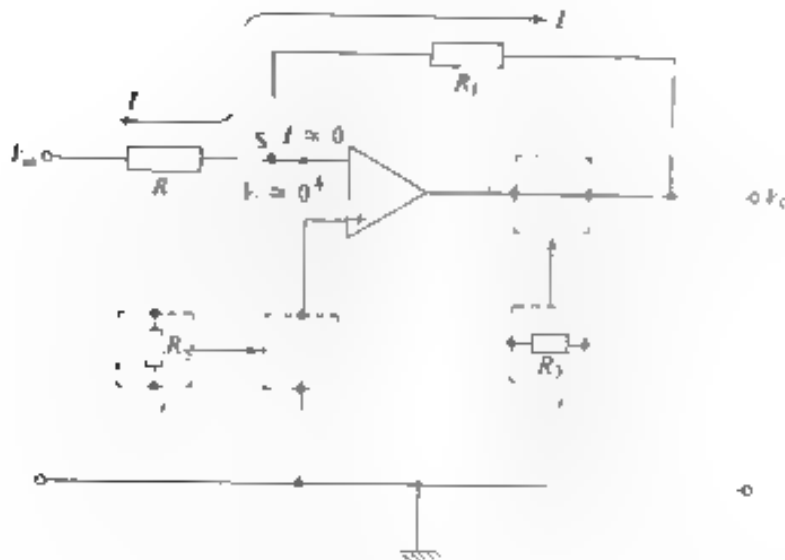
سيلاحظ القارئ ايضا القيمة المرتفعة جدا لكسب الجهد المصاحب لهذا النوع من المكبرات ، في العادة 100 000 [. وهذه القيمة من كسب الجهد في حد ذاتها تعتبر غالبا مرتفعة اكثر من اللازم . فعلى سبيل المثال ، اذا لمكن استخدام هذه القيمة من الكسب ، فانه نظرا الى أن اقصى تأرجح لجهد

الخروج لمكبرات النوع 741 هو $13\text{ V} +$ ، من اكبر قيمة يسمح بها لتأرجح جهد الدخل هي $\pm 0.13\text{ mV} = \pm 13 \times 10^{-6}\text{ V} = \pm 13 \times 10^{-3}\text{ V}$ أو حوالي 0.1 V ح.م.م ومن الواضح جدا ، ان هذه القيمة لجهد الدخل تعتبر صغيرة للدرجة التي لا يصلح معها لاي استخدام . وعلى التطبيق العملي ، تدعو الحاجة الى التعامل مع تأرجح في الجهد بقيمة $\pm 10\text{ V}$ أو اكبر . وللتكيف مع هذه القيم العالية لتأرجح الجهد ، يصمم ضروريا تضمين مكبرات تشغيلية داخل حلقات تغذية مرتدة سالبة ، حيث تؤدي الى انخفاض كسب الجهد للمكبر الى قيمة اكبر واقعية . سيتم مناقشة دوائر التشغيلية المرتدة بالاستعانة بالمكبرات التشغيلية في هذا الفصل .

١٤ - ٢ المكبر العكسي أو مغير الإشارة

يوضح شكل ١٤ - ٢ دائرة يعم استخدامها في علم الالكترونيات هي المكبر العكسي ملاحظ القارئ عند مقارنة هذه الدائرة بالدائرة المبنية في شكل ١٣ - ٢ [ب] انها تستخدم تغذية مرتدة محدد سلك على التوازي وان مقاومة اضافية R_1 قد استخدمت في شكل ١٤ - ٢ . وعند استخدام مكبر تشغيلي بكسب جهد في حدود $100\,000$ ، فإن جهدا V_1 لا تتعدى قيمته 0.0001 V فقط يلزم تسليطه على دخل المكبر لكي يعطى جهد خرج قيمته 10 V ومن الناحية الواقعية ، تقترب قيمة هذا الجهد الى حد كبير من الصفر ، مما ينتج عنه أن يرفع الى الوصلة S في شكل ١٤ - ٢ كنقطة ارض افتراضية . وحيث ان قيمة V_1 صغيرة جدا ، فإن قيمة التيار I_1 الذي ينساب الى داخل المكبر تصبح صغيرة جدا في الواقع ، وبذا يمكن اعتبار قيمته مساوية للصفر . والان ، حيث أن $V_1 \approx 0$ ، فلهذا نعلم لذلك تصبح قيمة التيار I المنساب في المقاومة R هي

$$I = \frac{V_{in} - V_1}{R_1} \approx \frac{V_{in}}{R_1}$$



شكل ١٤ - ٢ مكبر عكسي مسلط عليه تغذية مرتدة سالبة للجهد وعلى التوازي .

حيث ان $I_i = 0$ ، فإنه عندما يصل التيار الى الوصلة S فإنه ينسحب خلال المقاومة R_f ، ومن ثم

$$I = \frac{V_i}{R_f} \cong -\frac{V_o}{R_f} \quad [11-2]$$

وحيث ان قيمة كلا التيارين في المعادلتين السابقتين متساوية ، فإن

$$-\frac{V_o}{R_f} = \frac{V_{in}}{R_i}$$

لذا يصبح كسب الجهد A_v للمكبر التفاضلية المرتدة في شكل 11-2 هو

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_i}$$

وتعني الإشارة السالبة في المعادلة السابقة ان المكبر عكس للطور . وتبلغ القيمة الملائمة للمقاومة R_f حوالي $10 \text{ k}\Omega$ علما بان $1 \text{ M}\Omega$ تمثل رقما لقيمة تصوى مألوفة .

وفي بعض التطبيقات ، وهذا انه اذا رادت قيمة R_f عن $10 \text{ M}\Omega$ فإن جهد الحرج يصبح مقلوب . ويمكن معادلة هذا التذبذب بتوصيل مكثف سعة حوالي 100 pF على التوازي R_f فلذا كانت $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ و $R_f = 100 \text{ k}\Omega$ فإن كسب الجهد للمكبر يصبح

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i} = -\frac{100}{10} = -10$$

بمعنى انه ، اذا كانت $V_{in} = +0.5 \text{ V}$ ، فإن $V_o = (-10) \times 0.5 = -5 \text{ V}$ ، فلذا سلط جهد هيبى متميز قيمته 0.5 V ج.م.م الى دخل مكبر التفاضلية المرتدة فإن جهد الحرج بالمثل هيبيا وقيمة 5 V ج.م.م ونصبح زاوية الطور بينه وبين الإشارة المسلطة مساوية لـ 180° .

ومن الممكن التنبؤ بمعرض النطاق الترددي للمكبر التفاضلية المرتدة (اي نطاق الترددات التي تكرر بقيمة منتظمة) من منطلق حقيقة ان حاصل ضرب الكسب ومعرض النطاق للمكبر التفاضلية المرتدة هو مقدار ثابت . فعند تردد قيمته 10 Hz ، تكون قيمة الكسب 100000 ، وحاصل ضرب الكسب في معرض النطاق الترددي للمكبر هو

$$10 \times 100000 = 1000000 = 10^6$$

لذا انخفض الكسب بمقدار 10 كنتيجة لتسليط التغذية المرتدة ، فإن معرض النطاق الترددي يصبح

$$\text{معرض النطاق الترددي} = A_v = 10^6 / 10 = 10^5 \text{ Hz} = 10^5 \text{ kHz}$$

طريقة معادلة الانسياب الحراري بعد تشغيل المكبر لفترة قصيرة وهد ان تغيرات طفيفة تحدث في جهد الخرج بسبب التأثيرات الحرارية وفي

أحدى الطرق المستخدمة لتقليل الانسياب الناتج عن هذه التأثيرات موضع مقاومة R_2 على التوالي مع طرف الدخل العير عاكسي وانوضح داخل الموضع (i) من شكل ١٤ - ٣ .

ويمكن شرح السبب في استخدام هذه المقاومة كما يلي . لنفترض ان حط الدخل العير عاكسي قد وصل للأرض مباشرة ، كما هو موضح بالشكل وان قيمة الجهد V_{in} تساوي الصفر أي انها موصلة بالأرض . وتحت هذه الظروف ، يضرب قدر ضئيل من التيار من كلا طرفي دخل المكبر ، يمر التيار الخارج من طرف الدخل العير عاكسي مباشرة الى الأرض ، بينما ينقسم التيار الخارج من الدخل العاكسي بين المقاومتين R_1 و R_f وبهذا جهد صغير بين طرفي الدخل في الظهور بالرغم من أن قيمه V_{in} تساوي الصفر نتيجة للتيار خلال R_1 و R_f ، وتؤدي هذه القيمة من الجهد الى جهد خرج يتغير مع درجة الحرارة .

ويقل هذا التأثير لادنى حد ممكن موضع المقاومة R_2 ، والتي تعرف باسم **المقاومة المعادلة لانسياب التيار** ، على التوالي مع حط الدخل العير عاكسي ومن اللازم ان تكافئ قيمة المقاومة R_2 كهربائيا مجموعة الواري R_1 و R_f أي أن

$$R_2 = R_1 R_f / (R_1 + R_f)$$

فلذا كانت $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ و $R_f = 100 \text{ k}\Omega$ ، فإن

$$R_2 = 10 \times 100 / (10 + 100) = 9.09 \text{ k}\Omega$$

وتحتوى المعدات المتخصصة على هذه المقاومة ، ولكن يمكن حذفها من الدائرة البسيطة . وعندما يوجد ضمن الدائرة ، فلن تؤثر على كسب جهد المكبر .

الوقاية ضد حدوث قصر . يسي داخليا في كثير من المكبرات التشغيلية دوائر وقائية ضد تيارات القصر عند الخرج ، ولكن بعضها لا يمتلك هذه الميزة . وفي هذه الحالة يفضل توصيل مقاومة R_3 على التوالي مع خط الخرج في الموضع (ii) من شكل ١٤ - ٣ . وتبلغ القيمة الملائمة للمقاومة R_3 حوالي 47Ω .

١٤ - ٢ مكبر جمع

يوضح شكل ١٤ - ٤ دائرة مكبر بسيطة يمكن أن تجمع عدة اشارات مع بعضها البعض ويمطى جهد الخرج لهذا المكبر بالمعادلة التالية :

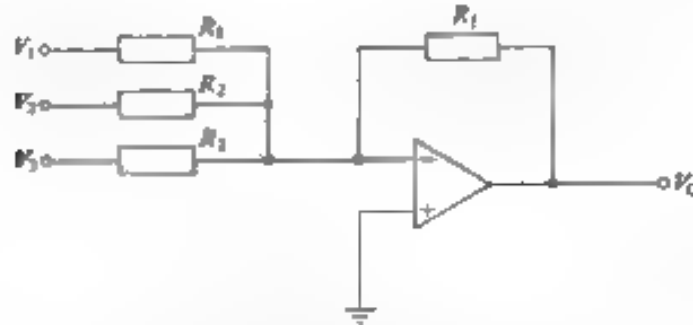
$$V_o = \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 \right)$$

فمثلا ، اذا كانت $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ ، $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ، $R_3 = 47 \text{ k}\Omega$ ، $R_f = 100 \text{ k}\Omega$ ، فإن

$$V_o = 2 \text{ V} \text{ ، } V_1 = +1.5 \text{ V} \text{ و } V_3 = 0.5 \text{ V} \text{ ، فإن}$$

$$V_o = - \left(\left[\frac{100}{10} \times 1.5 \right] + \left[\frac{100}{47} \times (-2) \right] + \left[\frac{100}{100} \times 0.5 \right] \right) \\ = -(15 + (-4.26) + 0.5) = -11.24 \text{ V}$$

ومن الممكن استخدام هذا النوع من المكبرات ، مثلا ، في وحدة خط التردد السمي التي تخط بها اشارات من ثلاث مصادر مثل الميكروفون ، وجهاز التسجيل والقياس .



شكل ١٤ - ٤ مكبر جمع أو دائرة المضافة للجهد

وكما في حالة المكبر العاكس الاساسي ، يمكن تهيئة التفاضل الحراري بتوصيل مقاومة على التوالى مع خط الدخل العبر عاكس . ويجب أن تساوى قيمة هذه المقاومة مجموعة التوازي المكونة من R_1 و R_2 و R_3 و R_4 . في الحالة السابقة ، يجب أن تكون قيمتها حوالي $7.1 \text{ k}\Omega$

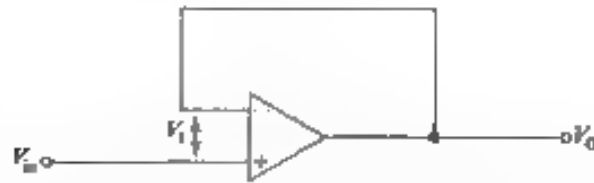
١٤ - ٤ دائرة تابعية الجهد

تحتاج تطبيقات كثيرة الى دائرة بالخواص التالية ،

- [أ] يجب أن يكون الكسب بقيمة الوحدة .
- [ب] يجب أن تكون غير عكسة .
- [ج] يجب أن تكون مقاومة الدخل مرتفعة .
- [د] يجب أن تكون مقاومة الخرج منخفضة .

يوضح شكل ١٤ - ٥ مكبر تغذية مرتدة يحقق كل هذه المتطلبات ويمكن التحصل على هذه السمات بتطبيق 100% تغذية مرتدة للجهد المسالب وعلى التوالى مع دخل المكبر . بمعنى أن ، يفذى V_o خلفا معايرة الى الدخل العاكس للمكبر التشغيلي . وهي في الحقيقة ، تعتبر صورة أخرى محسنة لدوائر تابع الباعث والمصدر السابق توضيحها في الفصل الثالث هـ . ويستخدم هذا النوع من المكبرات كمكبر سلا بين مصدر اشارة ذي معاوقة خرج مرتفعة وحمل ذي معاوقة دخل منخفضة . وتمثل المعاوقة

المرتفعة لدائرة تابع الجهد حملا كهربائيا حقيقيا بالنسبة لمصدر الإشارة ولها معاوقة خرج منطلعه انخفاضها كافيا [مادة جزء من الاوم] لكن تنفع عيارا بقيمه كبيرة نسبيا . اى كبيرة طبقا للمقاييس الالكترونية [اى الحمل .



شكل ١٤ - مكبر متابع غير عاكس شحبة كسبه تعادل الوحدة .

ومن الممكن استنتاج سبب كون كسب جهد المكبر مساويا للوحدة من الدائرة في شكل ١٤ - كما يلي . حيث ان الكسب للمكبر التشغيلي نفسه مرتفع جدا ، فيكون قيمة الجهد V_1 بين طرفي الدخل من الناحية الواقعية مساوية للصفر . فيتساوى الجهد عند طرفي الدخل في هذه الحالة ، اى ان

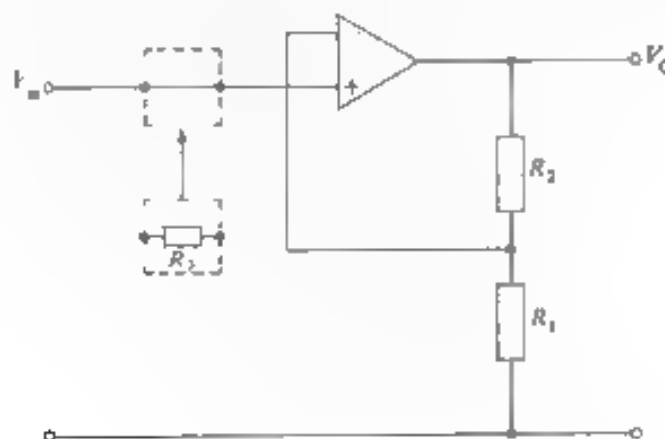
$$V_O = V_{in} \quad \text{او} \quad V_O / V_{in} = 1$$

١٤ - ٥ المكبر الغير عاكس

يسلط على الدائره في شكل ١٤ - ٦ تغذية مرتدة لجهد سالب وعلى التوالي عن طريق شبكة β المكونة من R_1 و R_2 . وفي هذه الحالة ، نسلط الإشارة على طرف الدخل الغير عاكس لنصنع طور إشارة الخرج الناتجة متفقا مع V_{in} . ويعطى كسب الجهد لهذا المكبر بالمعير الاتي :

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

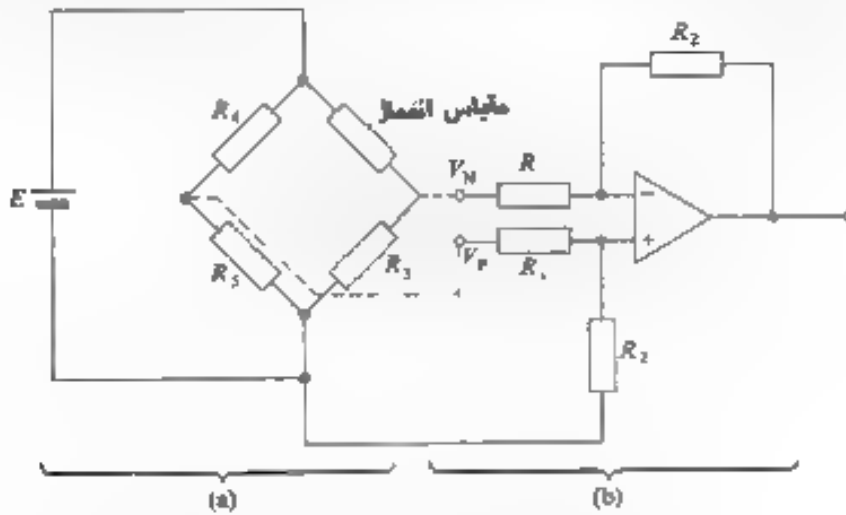
فلذا كانت $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ و $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ، فان $A_v = 1 + 10/1 = 11$ ،



شكل ١٤ - ٦ مكبر غير عاكس

١٤-٦ مكبر تفاضلي أو مكبر فرقى

فى بعض التطبيقات ، يكون من اللازم تكبير إشارة صغيرة جداً فى وجود إشارة أخرى كبيرة وغير مرغوب فيها . ومن ضمن التطبيقات المذكورة لهذا النوع من المكبرات قطره مقياس الانفعال من النوع الموصى فى شكل ١٤ - ٧ [١] . مقياس الانفعال هو تخطيط يستخدم لقياس الانفعالات الميكانيكية فى المنشآت تحت الاختبار . كما فى الطائرة أو فى الصاروخ .



شكل ١٤ - ٧ [١] تطبيق مقياس انفعال تفاضلي و [ب] شكل شعاع دائرة مكبر تفاضلي .

يتكون مقياس الجهد من شبكة ذات لاسلاك حقيقة فوق ورقة دعم ملتصقة على القطعة تحت الاختبار، ويقاس الانفعال بتحديد التعبير فى مقاومة المقياس عند تحميل القطعة ميكانيكياً . ويوصل المقياس بدائرة القنطرة كما فى شكل ١٤ - ٧ [١] ، وتصيح القنطرة مقزنة فى حالة اللاحيل بحيث تتساوى قيمه الجهدين V_N و V_P وعند تسليط حمل ميكانيكى ، تتغير مقاسومة مقياس الانفعال وتؤدي الى ظهور جهد فى حدود بضعة وحدات من الملى فولت بين V_N و V_P . وهذه الطريقة يمكن قياس جهد صغير جداً .

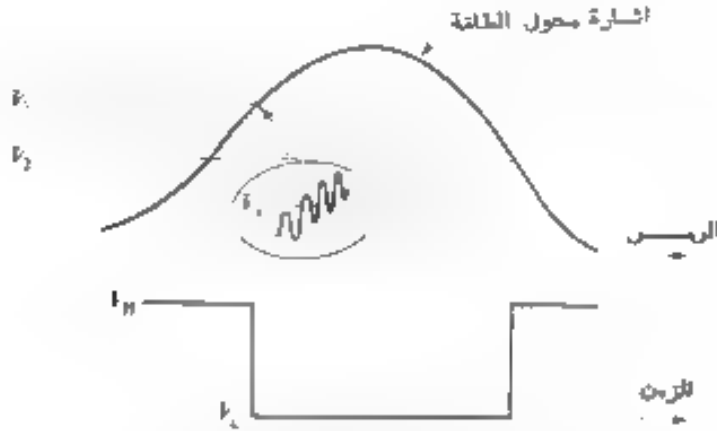
يوضح شكل ١٤ - ٧ [ب] الشكل الشائع للمكبر المستخدم فى هذا النوع من التطبيقات ، وهو يستخدم تغذية مرتدة سالبة على التوازي من الحرج الى الدخل العاكسي . ويكون الدخل العكس للمكبر هو $V_P - V_N$ ، ويصح كسب الجهد للمكبر

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_0}{V_P - V_N} = \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{الفرق بين } V_P \text{ و } V_N} = A_v$$

عإذا كانت $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ و $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ، فان $A_v = 10$

١٤ - ٧ مقارنة الجهد

مختلف الكميات المقاسة لكثير من محولات الطاقة في الصناعة بمعدل بطيء جدا كما يحدث ، على سبيل المثال ، لاشارة من محول للطاقة بقياس ارباع الماء من حرا كبر . ويدعو لحاحه هنا من المالب الى دائرة كهربائية بتغير خرجها محدة عندها يصل بمنسوب هذه الاشارة الى قيمة معينة سبق تحديدها . فالقارن هو تبليطه بتغير جهد خرجها محده من قيمة الى قيمة اخرى عندما يرمع بمنسوب الاشارة الى حد معين ، ويعود محده الى قيمتها الاصلية عندما تهبط بمنسوب اشارة الدخل الى قيمة اقل قليلا ، ملدا سلطت اشارة محدل انصافه من شكل ١٤ - ٨ الى مقارن مسرع من ما بتغير جهد خرج المقارن من V_H الى V_L عندما تطلع اشارة محول الطاقة قيمة تساوي V_L ، ويرد هذه القيمة مرة اخرى الى V_H عندما تهبط قيمة اشارة محول الطاقة الى V_L ويعرف مرق الجهد $V_2 - V_1$ على منسوب جهد الدخل بالجهد المخطي او بجهد التعويت للمقارن . وسو حد جهد التعويت بالمقارن الصناعية وذلك للسبب التالي . يحوى اشارات محولات الطاقة في العلب على تشويش

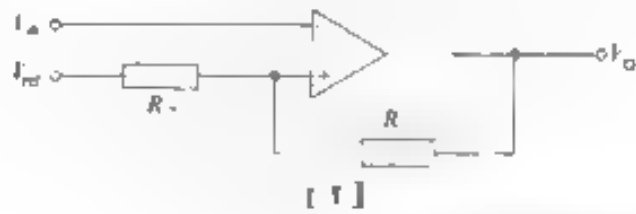


شكل ١٤ - ٨ الاشكال الموجة لتقل ونرج القارن .

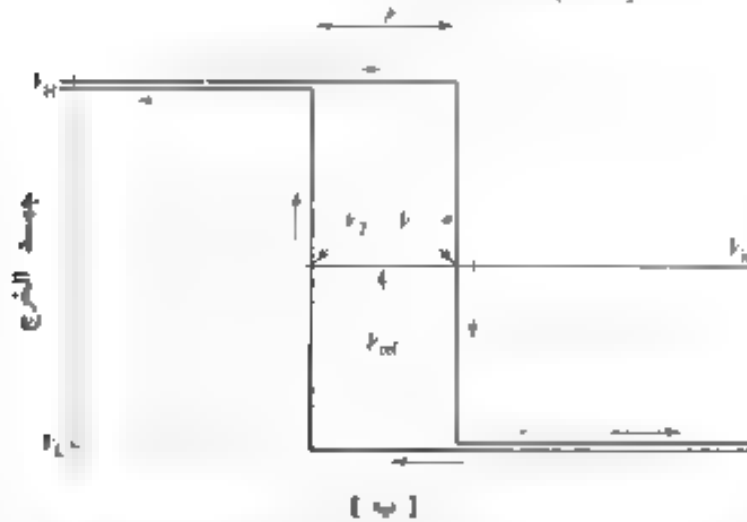
كهربائي من الممكن ان يسحب بواسطة مصادر السار المتردد بالقرب من محولات الطاقة او بواسطة عمليات القطع وانتوصيل في الاجهزة المحاورة لها . الخ . وقد ومع هذا تشويش بالحرء المصن من شكل ١٤ - ٨ . على لم يبتلك المحول هذا التعويت ، لادى اى تشويش مركب مع اشارة محول الطاقة في تعذب سريع لاشارة خرج المقارن بين V_H و V_L ومع تعويت كلف في حوامس المقارن ، يسمع وقوع هذا التعذب وتعطى الدائرة درجة من الحصانة ضد الضوضاء .

بومع شكل ١٤ - ١١ احدى صور الاشكال الشائعة للمقارن وهي دائرة شبهة للاطلاق . ستخدم هذه اندائره مقبلة مرتدة بوحه عن طريق المقاومة R_1 ، ليس فقط لتحسين سرعة العمليات وانما ايضا لتقديم التأثير المخطي . وفي العادة ، تردد قيمة R_2 كثيرا من قيمة المقاومة R_2 وتعطى

جهد اطلاق علوى V_1 فى شكل ١٤ - ٨ اكر قليلا من الجهد المقارن V_{ref} فى شكل ١٤ - ٩ [١] . ويظل جهد الاطلاق السفلى V_2 فى شكل ١٤ - ٨ قليلا من الجهد المقارن V_{ref} .



$$V_2 = \frac{2R_2}{R_1 + R_2} V_H$$



شكل ١٤ - ٩ دائرة شميت للانطلاق لو مقارن إعادة توليد الجهد .

بوصف شكل ١٤ - ٩ [ب] المنحى المير فى حالة القطبية الموحدة للجهد المقارن . ويتخذ خرج الجهد أقصى قيمة موحدة له V_H ، عندما تقل القيمة المطلقة لجهد الدخل V_{in} عن V_1 ، علما بأن قيمة V_H تعتمد على قيمة جهد مصدر القدرة وعلى المكر التشغيلى المستخدم . وتؤدي زيادة قيمة الجهد V_{in} عن قيمة الجهد V_1 الى معير محائى لجهد الخرج هو أقصى قيمة سالبة له أى V_2 [انظر شكل ١٤ - ٩ [ب]] . ويظل منسوب جهد المقارن عند هذه القيمة طالما ان قيمة اشارة الدخل اكر من V_1 . وعند انقلاص جهد الدخل الى V_2 ، يرتد جهد الخرج فجأة الى قيمته الاصلية V_H مرة اخرى . واذا تساوت قيم كل من V_1 و V_H فان قيمة جهد التخلف تعطى كالآتى :

$$V_2 = V_1 - V_2 \approx 2R_2 V_H / (R_1 + R_2)$$

وهكذا ، اذا كان $V_H = 10 \text{ V}$ و $R_1 = 9.9 \text{ k}\Omega$ و $R_2 = 0.1 \text{ k}\Omega$ فلى

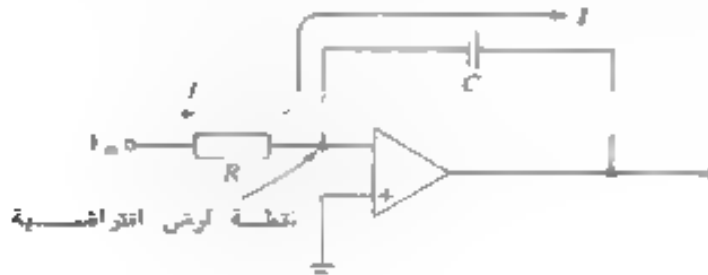
$$V_2 = 2 \times 0.1 \times 10 / (9.9 + 0.1) = 0.2 \text{ V}$$

١٤-٨ دوائر التكامل الالكترونية

لقد سبق وصف البوطيعة التي يؤديها الدائرة الكاملة في الفصل الثالث .
وسيكون من الملائم للقارئ أن نعيد هنا هذا الوصف .

في الدائرة المكاملة ، ساسب القيمة اللحظية لمعدل تغير إشارة الخرج
من المكامل مع سعة إشارة الدخل .

لننخذ في الاعتبار عمل الدائرة في شكل ١٤ - ١٠ . في هذه الدائرة ،
يسلط معدلة مرندة سالبة من لخرج الى طرف الإدخل العاكسي عن طريق
المكثف C .



شكل ١٤ - ١٠ دائرة تكاملية الكفروسة

ومما أن طرف الإدخل العاكسي يعبر نقطة أرضية أمراسيه ، فإن كل التيار
المنساب في مقاومة الإدخل R يجب أن يمر أيضا خلال المكثف C . فإذا
أحدد الجهد V_{in} قيمة ثابتة ، فإن $I = V_{in} / R$ ، ويحدد بها قيمة ثابتة .
ومما سبق عرضه في الفصل الثالث عن المكثف ، سيستذكر القارئ أن

تسار المكثف $C = \text{معدل تغير جهد المكثف}$

ومن ثم فإن

$$I = \frac{V_{in}}{R} = C \times \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

وهكذا يصبح

$$\frac{V_{in}}{RC} = \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

وحيث أن من المفروض أن يكون لوح المكثف عند جهد الأرض ، فإن معدل
تغير الجهد بين طرفي المكثف يساوي معدل جهد الخرج . لذا فإن

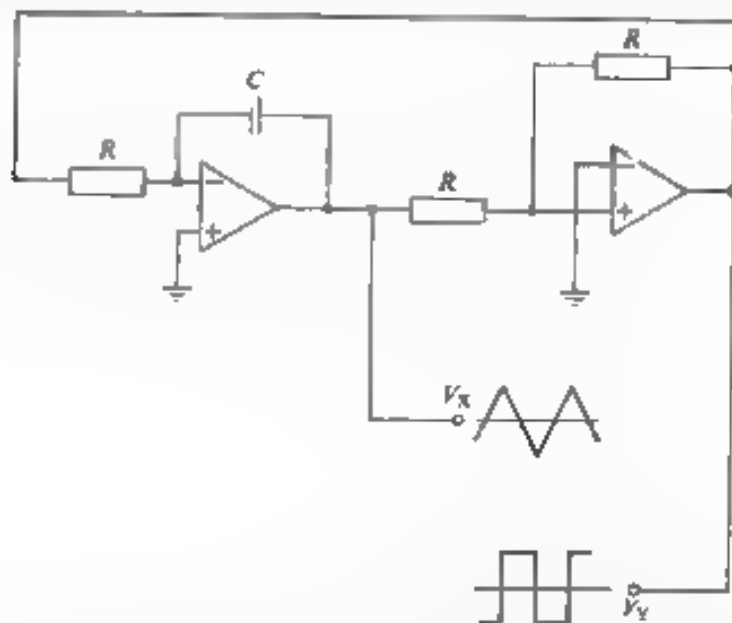
$$\frac{V_{in}}{RC} = \text{معدل تغير جهد الخرج}$$

ونبلى العلاقة السابقة أنه إذا كانت قيمة V_{in} ثابتة ، فإن I_0 يتغير
بمعدل ثابت . وبمقارنة هذه الصيغة بوصف البوطيعة التي يؤديها المكامل ،
نرى أن الدائرة في شكل ١٤ - ١٠ تؤدي وظيفة المكامل .

وحيث ان الإشارة تسلط على طرفي الدخل العاكسي ، فانه اذا اتخذ الجهد V_{in} قطبية موجبة ، تصبح قطبية V_o بصفة تدريجية أكثر سلبية . أما اذا اتخذ الجهد V_{in} قطبية سالبة ، فلن قطبية V_o تصبح بصفة تدريجية أكثر ايجابية .

ومن ضمن سمات الدائرة المكاملة وهي أنه اذا انقص جهد الدخل فجأة الى الصفر ، فانه تما للوصف السابق للمكامل ينقص معدل تغير جهد الخرج ايضا الى الصفر . بمعنى أن جهد الخرج قد ربط على قيمة ثابتة طالما ظلت قيمة جهد الدخل عند الصفر . ومن الممكن تحقيق الحالة التالية السابقة فقط اذا لم تتسرب الشحنة بعيدة عن المكثف . ولتفادي هذا من حدوث ، يجب أن تكون المقاومة الداخلية للمكسر التشغيلي مرتفعة جدا ، وانه لن احل هذا السبب ، يفضل المكسر التشغيلي الذي يستخدم عند الدخل ترانزستور التأثير المحلي (FET) من البيئات الأخرى التي تستعمل ، عند الدخل ، وحدات ترانزستور ثنائية القطب ، مثل المكسر التشغيلي 741 [انظر الجدول ٤ - ١ والنقطة المصاحبة له] .

تستخدم المكامل بكثرة في نظم الالكترونية التي تولد انواعا خاصة من الاشكال الموجبة لعرض اختيار المعدات . ويوضح شكل ١٤ - ١١ تطبيقا من هذا النوع . اد يسلط في هذه الحالة جهد الحرج V_x من مكامل من هذا النوع السابق وصفه الى مقارن الجهد . وتقارن ترقية التغذية المرتدة في الدائرة



شكل ١٤ - ١١ مطلب لمبة التمررة لتوليد كل من الموجة المربعة الموجبة والسالبة .

الاخيرة قيمة V_x عند مدخل المقارن مع جهد خرج المقارن V_y . وعندما تكون قطبية V_y سالبة تتحول قطبية جهد الخرج المكامل ، بصفة منتظمة الى أن تصبح أكثر ايجابية . ويستمر الارتفاع في هذا الجهد طالما ظلت قيمة V_x عند قيمة V_y . وعندما تريد قيمة V_x قلبيلا عن قيمة V_y تصبح قطبية جهد الخرج المقارن فعاء موجبة . ويؤدي هذا الى أن يبدأ جهد الخرج من دائرة

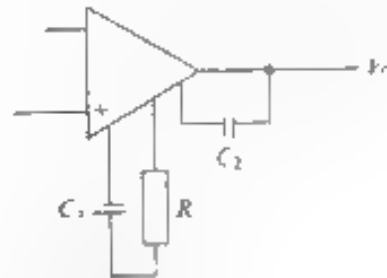
المكامل من الانحماض ، محطيا ، بعدل ثابت حتى يصبح من النهاية سالبة .
مرة أخرى ، عندما نزيد قبة جهد الحرج من المكامل قليلا عن قيمة V_y ، فإن
مطبخه جهد الموارر يعكس محده مرة أخرى . تستمر هذه العملية بدون
حدود لمعطى شكلا موحيا مثلثا عند الحرج V_x وشكلا موحيا سريعا عند V_y

وسنستخدم المدمجات من النوع الموضح سابقا لتوليد اشارات من المدى
الترددى من دورة واحدة لكل بمسعة دقائق حوالى 1 MHz . وباستخدام
دائرة الكروسه . يمكن تحويل الموجه المنته التى ما يكاد يقرب من الموجه
الجسة المثالية .

١٤ - ٩ معادلة التردد للمكبرات التشغيلية

لقد تم تصميم الدوائر التى وصفت حتى الآن ونفى ادهتها المكر التشغيلى
الاساسى 741 . ولهذا النوع من المكبرات بعض أوجه القصور ، ولهذا
السبب سنعمل ناسب انواع أخرى من المكبرات التشغيلية . ونفى بعض
الاحتمال ، قد يحدث جهد الحرج من هذه المكبرات مالم يوصل اليها دوائر
المعادلة (او تعويض) التردد لهذه المكبرات . وان لم نوظفه هذه الدوائر
مع البندى المریده الموجه من أن تملط دون قصد عند ترددات التشغيل
العالية .

ونفى دوائر معادلة التردد فى الدائرة التكاملية لمكر التشغيل 741
ولا ندعو الحاجة لائ مكومات خرجية . ويوضح شكل ١٤ - ١٢ العناصر
المعتادة لتعويض التردد والمستخدمه مع الانواع الأخرى للمكبرات التشغيلية .



شكل ١٤ - ١٢ معادلة التردد للمكبرات التشغيلية .

هذا وتدعو الحاجة المكثف C_1 والمقاومة R_1 لمعادلة التردد عند نقطة
مكبرة للمكر ويهيئ المكثف C_2 تعويضا للتردد من الحرج . وتقع قيم
 C_1 و R_1 عادة فى المدى من 10 pF الى 10 nF ومن صفر الى $15 \text{ k}\Omega$ ،
على الترتيب ، وتقع قيمة المكثف C_2 فى المدى من 3 pF الى 200 pF .
ويجب الاطلاع على ما يصدر عن المصممين لهذه السائط عند تنفيذ دوائر
بلاستخدام المكبرات التشغيلية التى تحتاج الى معادلة التردد .

الفصل الخامس عشر

مصادر القدرة ثابتة الجهد والإلكترونيات القوى الكهربائية

في هذا الفصل ، سيقابل القارئ مدى احتياجات نظم القوى الكهربائية التي تتراوح من الدوائر التي تعطى مصادر ذات درجة استقرار مرتفعة وتبلى في حدود مصممة من وحدات الميلي أمبير إلى النظم المثبتة للقوى الكهربائية العالية والتي لديها إمكانيات للتعامل مع قدرات تصل إلى عدة وحدات من الميجاولت .

١٥ - ١ الحاجة إلى مصادر قدرة ذات جهد ثابت :

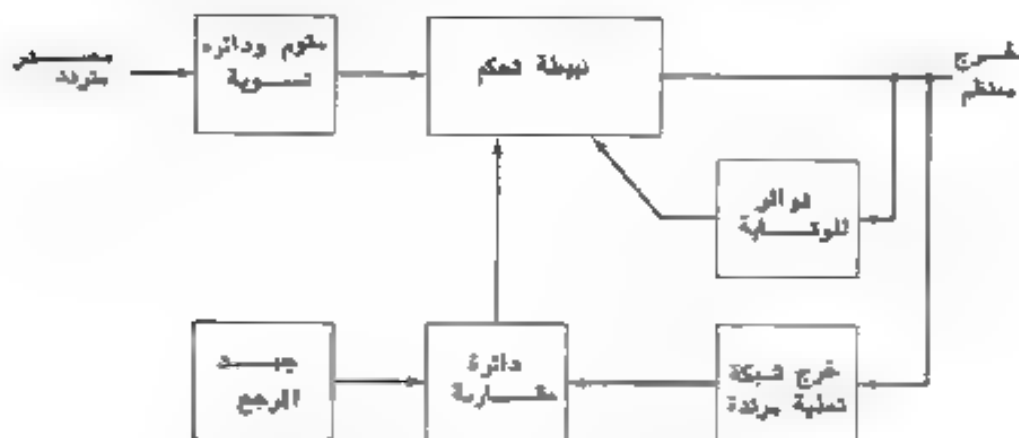
مصدر القدرة ثابت الجهد هو المصدر الذي يعطى خرجاً ثابتاً [عادة فولت] بدون تبوحت ، والذي لا يتغير خرجة عند تغير جهد المصدر في مدى يبلغ حوالي $\pm 10\%$. ويجب أن لا يعتمد خرجها أيضاً على التغير في مقاومة الحمل على مدى قيم الحمل العادية للمعدات . وعلاوة على ذلك ، تتضمن مصادر قدرة كثيرة أجهزة الكترونية للوقاية من تحاور التبلى والتي تستجيب في حدود عدد قليل من وحدات الميكروثانية من حدوث العطل ، كما تحتوي أيضاً على دوائر تمنع الجهد من التسلط على الحمل الموصل . وهذه الدوائر التي ذكرت تعتبر هامة إذا احتوى الحمل دوائر تكاملية .

وكمثال لاستخدام مصدر القدرة ثابت الجهد ، ينبغي أن يظل مصدر التغذية إلى بعض أجزاء أجهزة التليفزيون الملون ثابت الجهد ، والآلات التحويلات في مصدر الجهد إلى تغير في ألوان الصورة . وتستخدم مصادر القدرة ثابتة الجهد أيضاً بكثرة في الأجهزة العملية الإلكترونية .

١٥ - ٢ فكرة عمل منظم التوالى للجهد

يوضح شكل ١٥ - ١ الشكل التخطيطي الإجمالي لأراحل منظم التوالى الذي يعتبر أكثر صور منظم الجهد الإلكتروني شيوعاً . في هذه الدائرة ، يقوم أولاً المصدر المتردد ويسوى قبل تسليطه على نبيلة التحكم والحمل .

وتشارك ببطية التحكم [التي تكون عادة من الترانزستور] والحمل ، مصدر التيار المستمر المسوى مع بعضهما البعض ، وتعمل ببطية التحكم بطريقة معينة بحيث تحافظ على الجهد ثابتا بين طرفي الحمل . ونصل هذه البنية بالطريقة الآتية : حيث أن ببطة التحكم تشارك الحمل بالنسبة لمصدر الجهد،



شكل ١٥ - ١ شكل تخطيطي لمراحل منظم تواتر

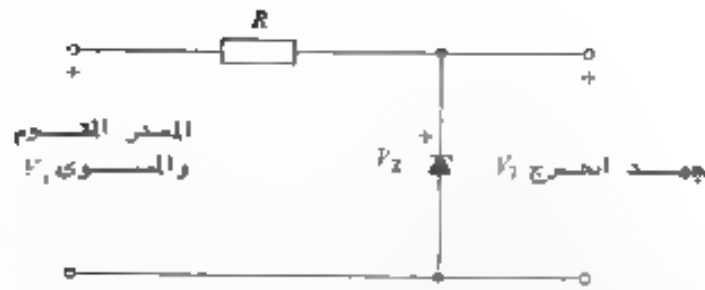
لذا فانه من الممكن عمل ترتيبية يشتمل لنسطة التحكم أن يتغير جهدها لتتنص أية تغيرات في مصدر الجهد . بمعنى أن ، تؤدي زيادة مصدر الجهد الى زيادة فرق الجهد بين طرفي نسطة التحكم ، بحيث لا يتغير الجهد المسلط على الحمل . وبالمثل ، ينتج عن انخفاض مصدر الجهد انخفاضا مناظرا في فرق الجهد بين طرفي عنصر التحكم ، ليعترك الجهد بين طرفي مصدر التحكم ، ليعترك الجهد بين طرفي الحمل ثابتا لا يتغير مرة أخرى .

ومن الواضح أن الجهد بين طرفي الحمل يظل ثابتا على مدى واسع لتغيرات مصدر الجهد . وبالمثل ، إذا تغيرت قيمة مقاومة الحمل ، فإن الجهد بين طرفي نبطة التحكم يسمير أيضا وبسرعة للحفاظ على جهد الحمل ثابتا . سنناقش فيما يلي الأجزاء المختلفة للرسم التخطيطي للمراحل في شكل ١٥ - ١ .

١٥ - ٢ مرجع مصدر الجهد

يوضح شكل ١٥ - ٢ دائرة شائعة تستخدم كمرجع لمصدر الجهد . وهي تتكون من دايود زينر مع توصيل الكاثود للقطب الموجب لمصدر القدرة الغير ثابت الجهد عن طريق المقاومة R . وتريد قيمة مصدر الجهد V_1 من جهد الانهيار V_Z لدايود زينر ، ويظهر فرق الجهد بين V_1 و V_Z [يساوي $V_1 - V_Z$] بين طرفي المقاومة R .

ومن الضروري أن لاتتدى وحدات الدايود ، التي تحتل لال هذا النوع من التطبيقات، أي تخبر على جهد الانهيار مع درجة الحرارة . ونساوي قيمة خرج

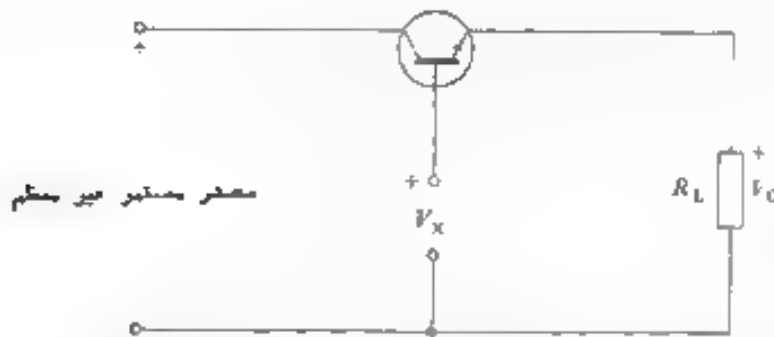


شكل ١٥ - ٢ شكل بسيط لمرجع مصدر الجهد

الحهد من هذه الدائرة ، فيه جهد الانهيار لدايود زيلر ، أي $V_2 = V_Z$. فإذا تغيرت قيمة جهد المصدر V_1 ، فإن فرق الجهد بين طرفي المقاومة R يتغير لمعادلة التغير ، ويظل جهد الخرج ثابتاً .

١٥ - ٤ نبيلة التحكم الموصلة على التوالي

إن أساس منظم التوائى هو تابع البعث فى شكل ١٥ - ٣ . فلأشارة V_x المسطرة على قاعدة الترانزستور هى الخرج من مرجع لمصدر الجهد يشبه المرجح الموصع فى شكل ١٥ - ٢ . وطبقاً لما تم توصيله فى الفصل الثالث عشر ،



شكل ١٥ - ٣ صورة أمثلة لدائرة منطكية على التوالي .

سيفرك القارىء أن قيمة جهد الخرج V_0 طبقاً لعمل تابع البعث نقل بمحدد قيمة قليلة عن قيمة V_x . وهكذا ، بالنظر إلى أن قيمة V_x ثابتة ومستقرة فإن جهد الخرج يظل ثابتاً ومستقراً بالمثل .

١٥ - ٥ منظم جهد موصول على التوالي

يوضح شكل ١٥ - ٤ إحدى صور المنظمات الموصلة على التوالي ، وسيتمعرف القارىء من هذا الشكل على المقوم ودائرة التسوية ، ومرجع مصدر الجهد ونمطية التحكم الموصلة على التوالي — وتكون شبكة خرج التغذية

المرتدة [انظر ايضا شكل ١٥ - ١] في الدائرة من شبكة المقاومة التي
تحتوى R_1 و R_2 و RV وتستخدم المقبومة RV لضبط قيمة جهد الخرج .
ويسلط جهد الخرج V_0 وجهد المرجع V_r الى دخل المكسر الفرقى [انظر
ايضا الجزء ١٤ - ٦ من الفصل الرابع عشر] ، والذي سلف حرجه مع
فرق الجهد بين جهدي الدخل اي $V_r - \beta V_0$.

والجهد عند مخرج مقياس الجهد RV عباره عن جزء β من جهد الخرج اي
انه يساوى βV_0 . قادا كان كسب المكسر الفرقى مرتفعاً لحد كبير من
قيمة الجهد V_r بين طرفي المكسر الفرقى يصبح صغيراً جداً ، أي أن

$$\beta V_0 = V_r$$

$$V_0 = V_r / \beta$$

وعلى سبيل المثال ، اذا كانت $V_r = 5$ و $\beta = 0.4$ ، فلي $V_0 = 12.5 = 5/0.4$
ماذا تحرك مخرج مقياس الجهد في اتجاه خط الخرج الموصل بحيث $\beta = 0.4$ ، فإن
قيمة جهد الخرج الجديد هي $V_0 = 5/0.5 = 10$. ومن الممكن ان يكون
المقاومة الصغيرة RV اما مفرق بين منطه او ، في حالة الاجهزة العملية
للاعراس العامة ، يكون مقياس الجهد مخصص بحكم على اللوحة الاولية للجهاز .

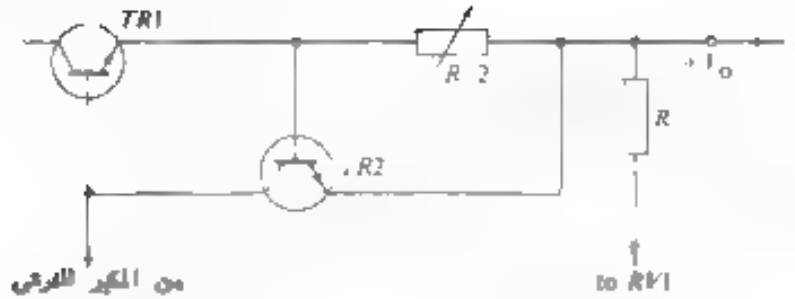
تنظم الدائرة الموصلة جهد خرجها تلقاء تعبيرات جهد المصدر كما يلي :
اذا رادت قيمة جهد المصدر ، فإن جهد الخرج يسيل الى الزيادة ، ومنه
يساوى الجهد الاحيالى عند دخل المكسر الفرقى (تذكر ان $V_0 = V_r - \beta V_0$)
ويؤدي هذا التأثير من نقص جهد الخرج من المكسر الفرقى والذي ، طبقاً
لتأثير مائع الناعث ، يؤدي الى انخفاض جهد الخرج من منظم الموالى الى
قيمة مختلف اختلافاً قليلاً عن قيمتها الاصلية .

١٥ - ٦ منظمات التوالى للوقاية من تجاوز التيار

وتجاوز الجهد عند الخرج

من الممكن ان تستخدم دائرة اوقاية من تجاوز التيار المبينة في شكل
١٥ - ٥ بالاضافة مع منظم التوالى المبين في شكل ١٥ - ٤ حيث ترحم المكونات
 $TR1$ و R_1 في شكل ١٥ - ٥ الى المكونات المبينة في شكل ١٥ - ٤
وبهذه المكونات الاصلية $TR2$ و $RV2$ ومنه من تجاوز التيار ، وتعمل
الدائرة كما يلي : عند الاستخدام ، تصبط العتبة $RV2$ بحيث لا تكفي قيمة
فرق الجهد بين طرفيها ، عند القيم العادية لتيار الحمل التراسىريور $TR2$
موصلاً .

في حالات الحمل الزائد ، يصبح فرق الجهد بين طرفي $RV2$ على درجة
من الزيادة التي تكفي لبدء توصيل $TR2$ وذلك عندما تحول $TR2$ بعض
التيار من خرج المكسر الفرقى بعيداً عن قاعدة $TR1$. وهذا يؤدي الى
انخفاض قيمة تيار المحرك $TR1$ الذي يقلل من قيمة تيار الحمل الى مستوى

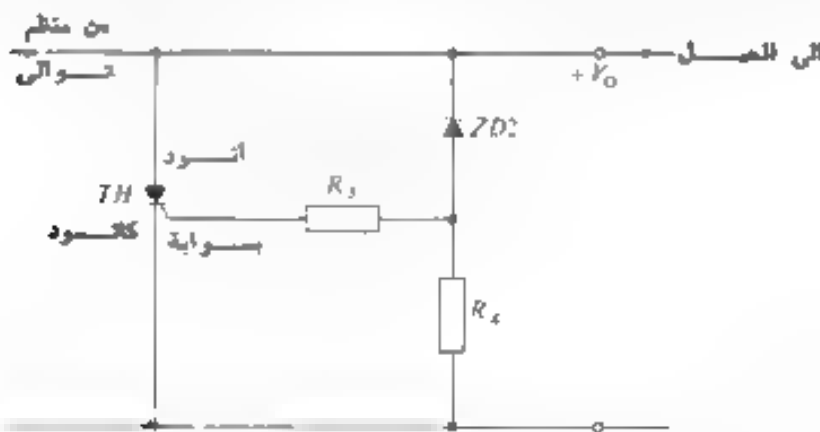


شكل ١٥ - ٥ - احدى الطرق لاستخدام الوقاية من تجاوز التيار .

آمن . مريده فيه المعلومه R_{V2} تقلل من قيمة تيار الحمل الذي يبدأ عنده الحد من التيار اى انه عندها يكون فيه RV كبيره ، من سار الحمل محد الى فيه منحصره .

وسعرض نظم منظميه كثيره للنظم اذا ارتفع مصدر جهدها عن قيمة معينة . من اللازم ان تتضمن مصادر القدرة المستخدمة مع هذه الانواع وسيلة لمنع جهد الحرج من الارتفاع عن حد الامان ، اى انها يجب ان تضمن وقاية من تجاوز الجهد عند الحرج .

ويوضح شكل ١٥ - ٦ طريقة بسيطة لتوفير هذا النوع من الوقاية . ففى هذه الدائره وعند ظهور تجاوز للحهد بين طرفى الحرج ، يسلط « محل » (crowbar) الكهرومى من خطوط الحرج ، ويؤدى هذا الى تسط دائرة قصر على حرج المنظم نفسه لحظيه . ويوصف هذا النوع من الوقايه بالوقايه المحليه من يراد الحهد ويحد من التيار المسبب من دائرة القصر اما بواسطة الوقايه الحديه للتيار والموصحه سابقا او بواسطة انصهار مصدر المصدر او بتشغيل قاطع السار حيث يوضع . ولا يستخدم هذا النوع من الوقايه مع نظم الدوائر التكافليه بحسب ولكنه يستخدم ايضا بكثرة مع مصادر كثيره للقدرة ذات الحهد الثالث ففى أجهزة استقبال التلفزيون الملون



شكل ١٥ - ٦ - نوع بسيط للوقايه المحليه من تجاوز الجهد

وتحتوي الدائرة على سبطه معرف باسم الثايرستور ، وهي موضحة مع الرمز TH في شكل ٥ - ٦ ، وستوصف بالتفصيل في الجزء ١٥ - ٧ من هذا الفصل . ومن أجل تلبية احتياجات العرض من هذا الجزء من الكتاب ، سمّيت شرح موجز هنا . مالتايرستور هو سبطه يشبه الدايود لها ثلاث أقطاب [الكاثود] هي بالاسم الانود والكاثود والنواة . وبؤدى منطقتي الانود والكاثود وصانف منطقتي الدايود المتماثلين . هذا ومختلف الثايرستور عن الدايود في أن الثايرستور لا يستطيع التوصيل ، حتى ولو كان الانود موجبا بالنسبة إلى الكاثود ، إلى أن يدمج تيار من منطقة النواة للسطة . مطالبا يوصل الثايرستور فاته يعمل كدايود عادي ، أي أن التيار ينساب خلاله طالما أن الانود موجبا بالنسبة إلى الكاثود .

وبعمل دائرة الوقاية من تجاوز الجهد والموضحة في شكل ١٥ - ٦ كميلي يحدد مستوى الاعناق للدائرة بواسطة جهد الانهيار لدايود زينر ZD2 مصدرا مرص . جهد الحرج من المنظم عن جهد الانهيار لدايود زينر ZD2 يسلب للبلر خلال مقاومة تحديد التيار R_3 وخلال نوابه TH . وبؤدى هذا إلى دائرة الثايرستور TH لحالة من التوصيل وتسليط دائرة قصر على أطراف حرج المنظم .

١٥ - ٧ وحدات الثايرستور

كما ذكر سابقا ، فإن وحدات الثايرستور هي بالاساس نطاق شبيهة للدايود ولها الكاثود تحكم أصلي . وقبل تسليط جهد على الكاثود التحكم [النواة] ، فإن الثايرستور يعمل بطريقة مماثلة لفتح في وضع الملق ، ولا يمر خلاله أي تيار . وعند تسليط جهد بالنقطبة الصحيحة [مستأنش] القطبة الفعلية بعد ذلك في هذا الجزء [على طرف النواب] فإن النقطبة تعمل كدايود [بوحد هناك معبرات طفيفة بالنسبة لهذا المطلب ومستأنش فيما بعد . وقد صيغ اسم ثايرستور من حقيقة أنه يعمل مثل الثايراترون من مادة من أشباه الموصلات [الثايروترون هو صلم ملوء بالعز يستعمل تقريبا لنفس الأغراض التي يستعمل فيها الثايرستور] . هذا وقد عرف نوع الثايرستور المستخدم في شكل ١٥ - ٦ في الماضي بالوحد السلبيكوني المحكوم أو SCR ، وهو الاسم التحاري .

توحد طائفتان شابتان للثايرستور ، هما الثايرستور عكسي الاعاقة والثايرستور ثنائي الاتجاه . وللسهولة ، سيرجع إلى النوع الأول كالثايرستور وإلى النوع الثاني كالترايك .

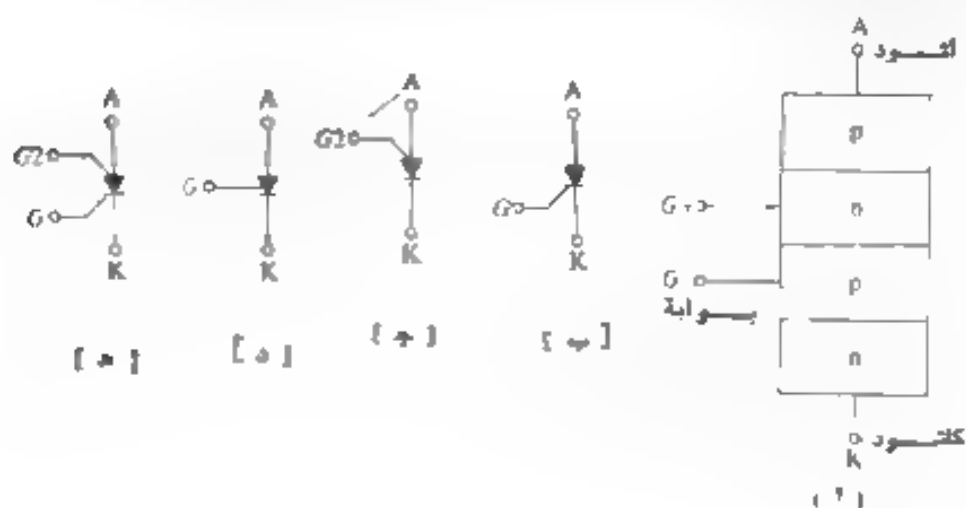
١٥ - ٨ الثايرستور عكسي الاعاقة

الثايرستور هنا هو نيطة من مادة شبه موصلة تحتوي على أربع طبقات موضحة في شكل ١٥ - ١١٧ ، حيث يتصل الانود والكاثود بهيكل كل من المنطقة نوع م والمنطقة س على الترتيب . وتستخدم منطقة م المتوسطة

في الثايرستور العادي كمناطقه البوابة G وقد وضع رمز الدائرة في هذه الحالة بالشكل (b) وتستخدم سائط اخرى منطقة من المنطقة G2 ، كمواصلة التحكم [انظر الثايرستور احادي التوصيل القابل للبرمجة (PUT) في الفصل التاسع] وقد وضع رمز الدائرة بالشكل (c) . تعرف البوابات G و G2 في بعض الاحيل بوابه الكاثود وبوابة الانود ، على الترتيب ، حيث ان منطقتي التحكم هاتين ، قريبتان من منطقتي الكاثود والانود . ويستخدم الرمز في شكل (d) ايضا ليمثل وحدات الثايرستور . ومع ذلك ففي نوع آخر من الثايرستور ، يعرف بالمتاح السليكوني المحكوم ، تها منطقتي البوابات لاعراض التحكم ، وقد وضع رمز الدائرة في هذه الحالة بالشكل (هـ) . وحتى الان ، قل نسطه بوابه الكاثود ، شكل ١٥ - ٧ [ب] ، هي اكثر انواع الثايرستور شيوعا ، وسوضح فكرة عملها كما يلي :

تشابه الحواص الاساسيه لجميع وحدات الثايرستور عكسية الاعاقه ما هو موضح في شكل ١٥ - ٧ و [ا] . ففى الرسم ، يحدد الاتجاه الموجب عندما يسحب التيار الى دخل الانود . ولناخذ في الاعتبار أولا عمل المنطقة عندما يساوي فيه الجهد المسلط على البوابة الصفر . عندما يكون انود الثايرستور سالبا بالنسبة الى الكاثود ، لا يسمح الثايرستور بانهيار الجيار خلاله [ويقول « يعوق » اسباب التيار] ، انما التيار المار خلاله هو سار الضرب فقط ، وتبلغ قيمته حوالى $200 \mu A$ لمبطه معدلها $1 A$ وحوالى $5mA$ لمبطه معدلها $10A$. وعندما يكون الانود سالبا ، يقول ان الثايرستور يعمل على الاسلوب عكسي الاعاقه . غادا زاد الجهد العكاسكي المسلط على الثايرستور تدريجيا يصل الى النقطة التي يحدث عندها انهيار عكسي ويزداد التيار خلال الثايرستور بسرعة مالمعه . وما لم يحد من قيمة التيار بعد حدوث الانهيار العكسي فان درجة حرارة الثايرستور تبدأ في الزيادة كنتيجة للقدرة المتولده من النبطه . وفي عالبية الحالات ، يؤدي هذا الى تلف الثايرستور .

سيوجه انتباه القارئ الان الى عمل الثايرستور في الوضع الاول من الحواص عندما يكون الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود [ا] . هنا ، وعندما تبلغ قيمه جهد البوابة الصفر وفي حدود الجهد المقنن للثايرستور ، فان





شكل ١٥ - ٧ الثايرستور [١] التركيب (ب) و (ج) و (د) الرموز المستخدمة للدائرة و [د] خواص الاتود التقليدية

الثايرستور يجمع اسباب التيار مرة اخرى ، وفي هذه المرحلة من التشغيل ، يقال ان الثايرستور يعمل على أسلوب الاعاقة الاملى من التشغيل .

ويمكن توصيله من هذه الحالة الى أسلوب توصيلها الاملى :

[١] بتطبيق اشارته على البوابة نحمل منطقة البوابة موجبة بالنسبة الى الكاثود او ،

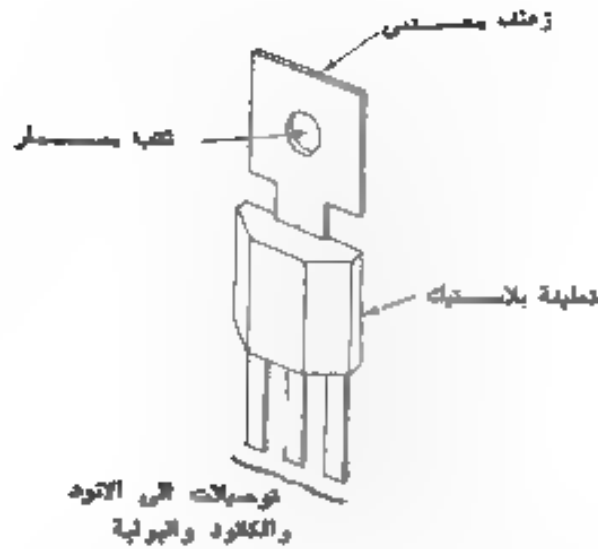
[ب] بزيادة جهد الانود الى النقطة التي يحدث عندها انهيار املى . والطريقة [١] السابقة هي الطريقة المعتادة لوصل الثايرستور . وقد تأخذ اشارته البوابة المستخدمة لوصل الثايرستور شكلا واحدا من الاشكال التي تتضمن (i) جهدا مستمرا او (ii) جهدا معوقا من تيار متردد . او (iii) نبضة قصيرة مدّة مقادير حوالى مئسة وحدات من الميكروثانية . وتفضل الطريقة (iii) لمدة اسباب متناقش فيما بعد .

هذا بمجرد انطلاق الثايرستور الى حالة التوصيل الاملى له ، يهبط الجهد بين طرفيه الى قيمة منخفضة نسبيا . وتبلغ القيمة النقطية لهذا الجهد حوالى 0.75 - 1.5 V عند التيار المقنن . وهكذا ، وعند الحمل الكامل ،

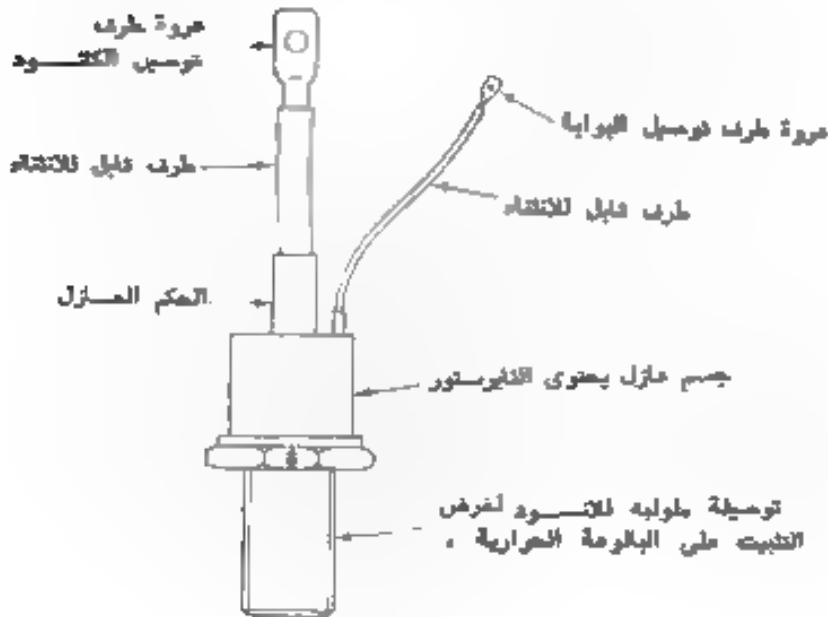
يحدد ثايرستور بتقنين واحد أمبير حوالى 1 W ويحدد ثايرستور بتقنين 100 A حوالى 100 W . ومن الواضح أنه بالنسبة للاحجام الكبيرة يلزم تركيب الثايرستور على بالوعة حرارة والتي يمكن تبريدها بالمروحة ؛ أن تطلب الأمر ذلك وسحرد أن يصبح الثايرستور فى حالة التوصيل الامبى ، تتقد اشارة البوانه قددرد التحكم من اثارستور وقد ينخفض جهد البوانه الى الصفر . وعلاوه على ذلك فانه سحرد أن يصبح الثايرستور موصلًا ، فانه يستمر فى التوصيل ، طالما استمر الابدود موحا بالنسبة الى الكاثود . وبقل الثايرستور باقلال بيار الابدود الى ما دون قيمة معرف باسم التيار لقلص [انظر شكل ١٥ - و] وبلغ قيمة هذا التيار حوالى $2-5\text{ mA}$ بالنسبة الى نظية بتقنين 1 A وحوالى 1 mA بالنسبة الى نظية بتقنين 15 A . ولاقلال قيمه بيار الابدود الى هذه القيمة ، ينقص جهد الابدود الى قيمه الصفر او يجعل سلبا .

مما سبق ، لا يستلزم الامر سوى تسليط اشارة على منطقة البوانه لمدة بضعة وحدات من الميكروثانية لوصول الثايرستور ON . ولهذا السبب تتضمن الانواع الشائعة لدائرة بوانه التحكم مولدات نبضات ، حيث قد وصح فى الفصل الثالث عشر من قبل نوعان ملائمان منها ووصف انواع اخرى منها فيما بعد فى هذا الفصل . وهناك سبب وحيه آخر لتفضيل استخدام مولد نبضات عن اشارة بوانه مستمرة وهو أن القيمة المتوسطة للقدرة المخفوعة الى داخل منطقة البوانه مولد النبضات تعتبر فى واقع الامر صغيرة جدا وهذا عائد الى تسليط نبضة البوانه لمدة صغيرة جدا من الزمن . وهناك سبب ثالث لاستخدام اشارة بوانه نبضة يتبثل فى أن القيمة المسموح بها لتيار الذي قد يوضع الى داخل البوانه خلال فترة الوصل (ON) . يزيد كثيرا عما اذا ما تم تسليط جهد ثابت وتؤدي القيمة المرتفعة لتيار البوانه الى وصل الثايرستور (ON) بسرعة اكثر عنها فى حالة بيار بوانه اقل . ويؤدي هذا بدوره الى الاقلال من القدره المبدده فى الثايرستور خلال فترة الوصل (ON) .

وصفة عالية ، يوصف الثايرستور على أنه نظية ذات قدرة مخفضة عندما يكون مقنن تياره اقل من حوالى 5 A ويوصف على أنه نظية ذات قدرة متوسطة اذا كان مدى مقنن التيار محصورا بين 5 A و 50 A ولوحدات الثايرستور مرتفعة القدرة مقننات للتيار تزيد عن حوالى 50 A ، ولا يعتمد نوع التغليب المستعمل للثايرستور على مقنن التيار فحسب ، بل يعتمد ايضا على طبيعة الاستخدامات . وتستكن وحدات الثايرستور بتقنين حوالى 1 A فى علب صغيره TO-5 او فى تعليمة من البلاستيك كما وضع فى الفصل التاسع [انظر شكل ٩ - ٢] . هذا وتستكن بعض نماط الثايرستور المنخفضة والمتوسطة القدرة [بتقنين من $5 - 10\text{ A}$ ، فى تعليمة [كسولة] بلاستيك] مماثلة لتلك الموضحة فى شكل ١٥ - ٨ [١] والتي نمطك بالوعة حرارية بسيطة على شكل رفص بارر ويمكن أن يستعمل الرفص لربطه مع بالوعة حرارية اكثر .



[١]



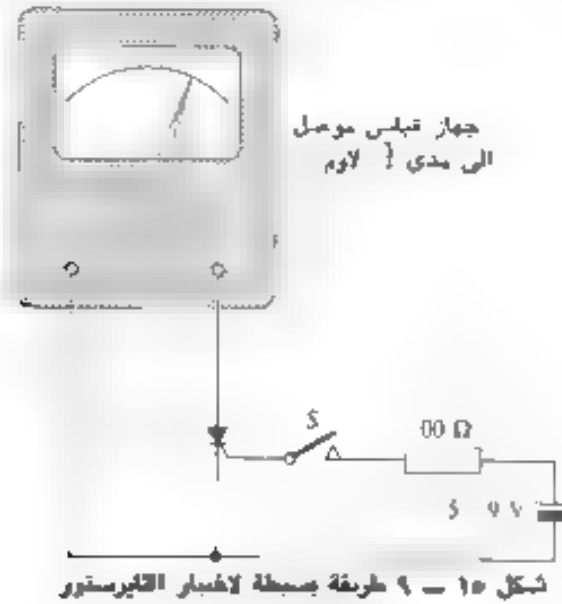
(ب)

شكل ١٥ - أ نوعان من أنواع تجميعات الفايبرستور

وتتخذ كثير من وحدات ثايرستور القدرة المتوسطة والقدرة العالية أشكالاً تماثل ما هو موضح في شكل ١٥ - أ [ب] ، حيث يعبر المسار المستخدم لتثبيت الثايرستور مع البالوعة الحرارية هو وصلة الأنود الخارجية . وتصنع توصيلات الكاثود والبوابة من طريق أطراف قليلة للالتصاق . وفي بعض الحالات ، تتبادل توصيلات الأنود والكاثود ، حيث يخصص لتوصيلة الأنود الطرف القابل للانداء . كوسيلة للتعرف على أطراف التوصليل [الإلكترود] ،

تطبع الرموز الاصطلاحية للدائرة احيانا على واحد من اوجه تغليقة الثايرستور .
كما هو موضح في الرسم التخطيطي [ب] .

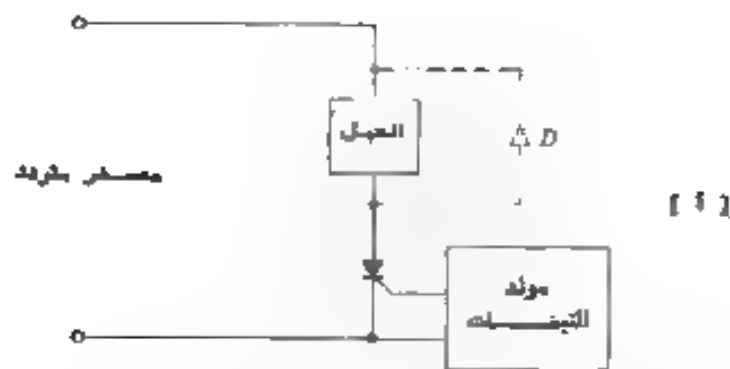
طريقة بسيطة لاختبار الثايرستور - نوضح شكل ١٥ - ٩ طريقة بسيطة
لاختبار الثايرستور باستخدام جهاز قياس متعدد المدى الموصل على مدى
الامم . وليست معه مقاومة دائرة البوابة قيمتها الموصحة 100Ω [حرجه
وموصل منفذ مقاومته للحد من التيار وعندما يكون المفاتيح S مفتوحا ، يجب
ان يظهر المؤشر مقاومة لا نهائية . بعد اغلاق المفاتيح S ، يجب ان تنخفض



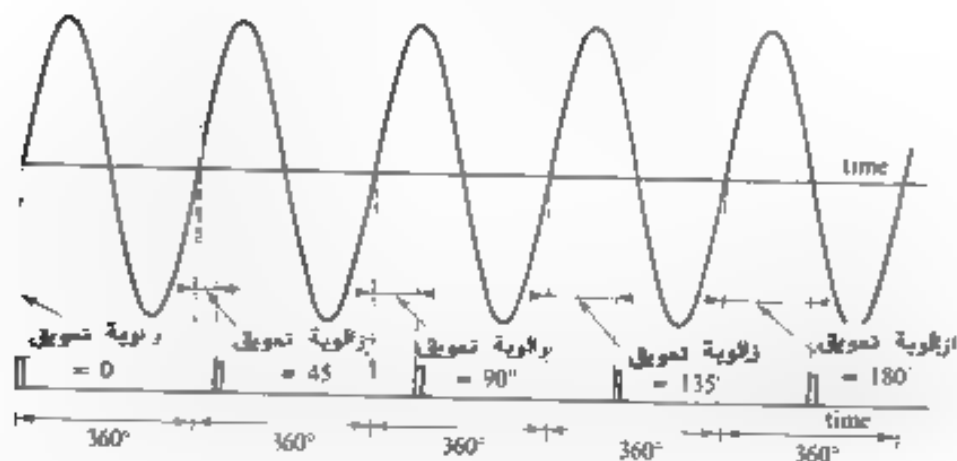
المقاومة المنيبة للمؤشر الى قيمه اقل . تكون عادة 1000Ω . اما المقاومة
بين منطقتي البوابة والكاثود للثايرستور التي سسمها المقياس متعدد المدى
تقلع عادة حوالي 50Ω .

١٥ - ٩ الدوائر الاساسية للثايرستور :

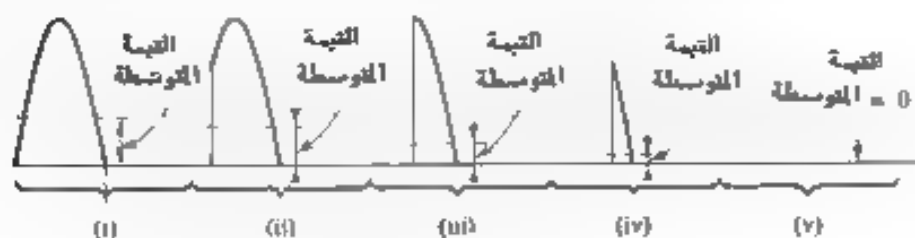
لعل اسهل شكل لدوائر الثايرستور هي دائرة السقف موجه احادية الطور
في شكل ١٥ - ١٠ [١] . ومن الممكن ان يتبادل وضعي الثايرستور والحمل
في بعض الحالات ، لتحقيق ميزة معينة [انظر ، على سبيل المثال ، الجزء
١٥ - ١٠] . سيعطى السبب لاستخدام الدايود D فيما بعد . وكما سبق
توضيحه في الجزء ١٥ - ٧ ، فانه من الممكن اطلاق الثايرستور لحالة
التوصيل عند انه نقطة في انصاف الموجة التي يكون لايود منها موحدا
بالنسبة الى الكاثود . ويمكن التحكم في النقطة التي يطلق فيها الثايرستور
بواسطة مولد التفاضل .



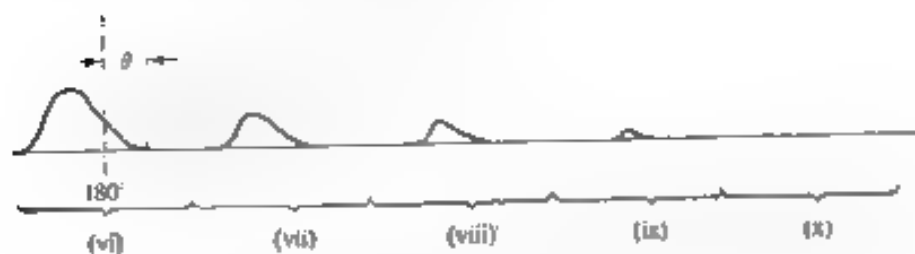
[ب] مصدر جهد تيار متردد



[ج] نبضات السرعة



[د] تيار الحمل [حل المتلوية]



[هـ] تيار الحمل [حل المتلوية]

شكل ١٥ - ١٠ الشكل الموجية لتيار المحرك الكهربائي المتعدد

الموصل إلى النواة ، لاحظ أن مولد السمكت في هذه الدائرة يمكن أن يمتد إلى حد كبير لذلك الذي مدم في الجزء ١٢ - ١١ . ويوضح الرسم المخطط د و هـ شكلا موجية مطوية للتيار في حالة حمل المقاومة النحمة وكذا في حالة حمل المحثة على التردد . ويوضح مما يلي عمل الدائرة بالنسبة لكلا النوعين من الحمل .

حمل المقاومة النحمة : انظر شكل ١٥ - ١٥ د | يوضح شكل ١٥ - ١٥ ب | الشكل الموجي من اسار التردد لحمل دورات كاملة لمصدر الجهد . ويعترض أن التأثير ستور يطلق في كل دورة بواسطة نبضة واحدة . ويعرف زاوية الطور ، التي يطلق عندها التأثير ستور بالنسبة إلى بداية الدورة . باسم زاوية التعويق . انظر شكل ١٥ - ١٥ ب . ويساوي زاوية التعويق في الدورة الأولى الصفر ويحدث الإطلاق عند بداية أول نصف دورة موجب | دورة (i) . وذلك منحنى . ما التأثير ستور مستمر في الموصل خلال ناسي النصف الموجب للدورة . وعند نهاية نصف الدورة هذه وعندما ينحصر جهد المصدر إلى الصفر ، فإن قيمة تيار الحمل تنشط إلى ما دون التيار القلبي للنسبة . ثم يرد التأثير ستور معتمد إلى سلوب الاعانة العكسي خلال كل النصف السالب للدورة عندما لا يمر تيار في الحمل . وتكفي القيمة المتوسطة لتيار الحمل خلال الدورة (ii) مثلها في دائرة مقوم نصف الموجة المعتادة موضحة بخط متقطع على الشكل الموجي (ii) .

وتساوي زاوية التعويق في الدورة (ii) 45° . ويعوق التأثير ستور اسباب التيار خلال إلى 45° الأولى من الدورة . يحدث الإطلاق عند 45° ويمر التيار في الحمل لتأتي النصف الموجب للدورة . وتشكل القيمة المتوسطة لتيار الحمل مع المساحة أسفل منحنى التيار خلال الدورة (ii) وحيث أن هذه المساحة تقع عن المساحة تحت منحنى تيار الدورة (i) من القيمة المتوسطة للتيار في الدورة (ii) تقل عن قيمتها في الدورة (i) أي أن زيادة نسبة زاوية التعويق تؤدي إلى الإقلال من قيمة تيار الحمل . وهناك طريقة أخرى تشير بها إلى زيادة زاوية التعويق وهي أن يقول أن نسبة النواة متطاوله حلقيا اعسرا من بداية الدورة . وعندما يقل زاوية التعويق ، يقول أن نسبة النواة متطاوله املما نحو نقطة الصفر . وكما في حالة الدورة (i) لا ينصب السار في النصف السالب للدورة .

وفي الدورة (iii) للرسم التخطيطي | ب | و | د | - تطاور نسبة النواة حلقيا إلى 90° وبدأ التوصيل عند هذه النقطة ويستمر لتأتي نصف الدورة . ويقل القيمة المتوسطة لتيار الحمل أكثر سحبه لهذا السار . وزيادة زاوية التعويق إلى 135° من الرسم التخطيطي | ج | و | د | للدورة (iv) تنحصر القيمة المتوسطة لتيار الحمل إلى قيمة صغيرة جدا . وفي النهاية ، تؤدي المطاورة الحلقية لنسبة النواة بمقدار 180° | انظر الدورة V | إلى عدم إطلاق التأثير ستور نتائج ، حيث المحاولة لوصلة عند قيمة الأود مساوية للصفر وعلى وثك أن يصح سائلا . ويصح القيمة المتوسطة لتيار الحمل في الدورة (V) مساوية للصفر . ومن الممكن أن تطاور نسبة النواة

خلطيا بعد 180° ولكن لا يؤثر هذا التشغيل بأي شكل على جهد الخرج حيث أن الثايرستور لا ينطلق في هذه الحالة .

ويوضح الوصف السابق كيف يمكن التحكم في القيمة المتوسطة بتغيير زاوية التعويق لسضات البوابة . يستخدم هذا الفكيك بكثرة في ترتيبات التحكم في سرعة المحركات الكهربائية ودرجة حرارة العرب والإضاءة .. الخ . والاسم الذي يعطى لهذه الطريقة لتغير نقطة الانطلاق هو تحكم الطور .

حمل المحلقة : انظر شكل [١٥ - ١٠ هـ] عند تسلط جهد على حمل حتى يصل تيار الحمل لا يتزايد الا ببطء فقط عند البداية . ويرجع هذا الى ظاهرة الق.د.ك . المستحثة ذاتيا (العكسية) في الملف . وعلاوة على ذلك ، فإنه عند نهاية النصف الموجب للدورة عندما يقل الجهد الى الصفر ، يسمع الق.د.ك العكسية تيار الحمل من ان يتناقص الى الصفر بصفة لحظية . أي ان التيار يظل متسلسا في الاتجاه الايجابي أثناء الجزء الأول من كل نصفه دورة سالبة من الشكل الموجي لجهد المصدر . ويتناظر ذلك مع حالة ارجاع الملف لجزء من الطاقة به الى نظام المصدر .

ويتزايد التيار ببطء في الدورة (vi) من شكل ١٥ - ١٠ هـ . وبعد أن يصل الى قيمة للدورة ، يضمحل في النهاية الى الصفر عند زاوية 0 بعد نهاية النصف الموجب للدورة . ويمضي هذا أن الق.د.ك العكسية في الحمل الحثي قد دفعت الثايرستور الى الاستقرار في التوصيل بعد نهاية النصف الموجب للدورة . وفي بعض الدوائر ، يستلزم الامر قطع انسياب التيار خلال الثايرستور أثناء كل النصف السالب — للدورة . وفي إحدى الطرق البسيطة لتأكيد حدوث ذلك ، يوصل الدايمود D على التوازي مع الحمل ، حيث وصح الدايمود بخط متقطع في شكل ١٥ - ١٠ [أ] ووظيفة الدايمود (دايمود التوحيد) هي تهيئة مسار بديل لانسياب التيار الحثي عندما يصمم جهد المصدر سالما .

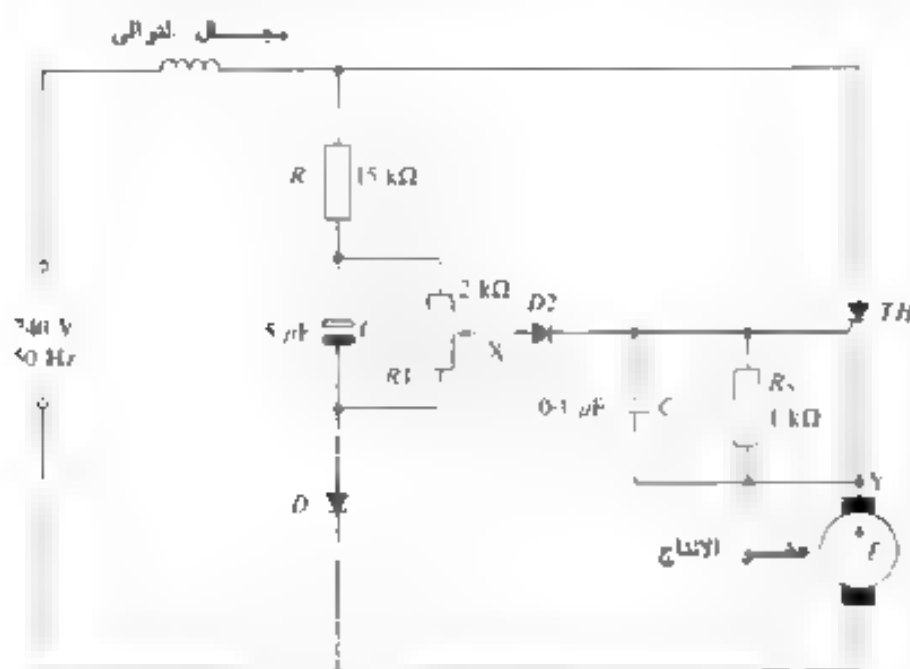
وكما في حالة المقاومة ، يؤدي التطور الحثي لسضة البوابة والى تعويق نقطة انطلاق الثايرستور ويقلل القيمة المتوسطة لتيار الحمل [انظر الشكل الموجية (vii) الى (ix) في شكل ١٥ - ١٠ هـ] . وتنخفض في النهاية قيمة تيار الحمل الى الصفر عندما تساوى زاوية التعويق 180° .

١٥ - ١٠ نظام للتحكم في سرعة الموتور الجامع :

يوضح شكل ١٥ - ١٠ دائرة تستخدم بكثرة في المعدات المنزلية للتحكم في سرعة الموتورات الحامصة . ولقد وجد بالممارسة عتبات لتهيئة تحكم دقيق في السرعة بالنسبة لنظم التحكم الاسمية للثايرستور من النوع السابق توضيحه ، وذلك نتيجة للتغيرات في الحمل الميكانيكي المسلط على الموتور . ومن ضمن الطرق التي تستخدم للتعليب على هذه الصعوبة توفير

تغذية مرتدة سالبة مع نظام التحكم ويسد هذا في شكل 11 - 11 باحلال موصى الثايرستور والحمل كل منهما بدل الاخر اذا ما تقرر ذلك مع دائرة شكل 15 - 10 [1]. وهنا يمكن اعتبار حمل عضو الانتاج كما لو كان مقاومه صفة ولا تحتاج الى دايود التوحيد .

ويقوم الدايود D_1 بأداء دور يقوم نصف البوابة الذي يسمح بتسلسلة نبضات ذوات اتجاهات موجبة لأن يظهر عبر مجموعة المقنومات R_1 و R_2 وبالتالي يصبح الجهد عند النقطة X ، والذي يمكن ان يتمير بصط مطراق المبرر وحده « مرجع اسرعه » المسلط على نظام التحكم . أما وظيفة المكثف C_1 فهي تقديمه انحراف في الطور . بين



شكل 15 - 11 دائرة بفق بوحه التحكم في سرعة المونور الطبع

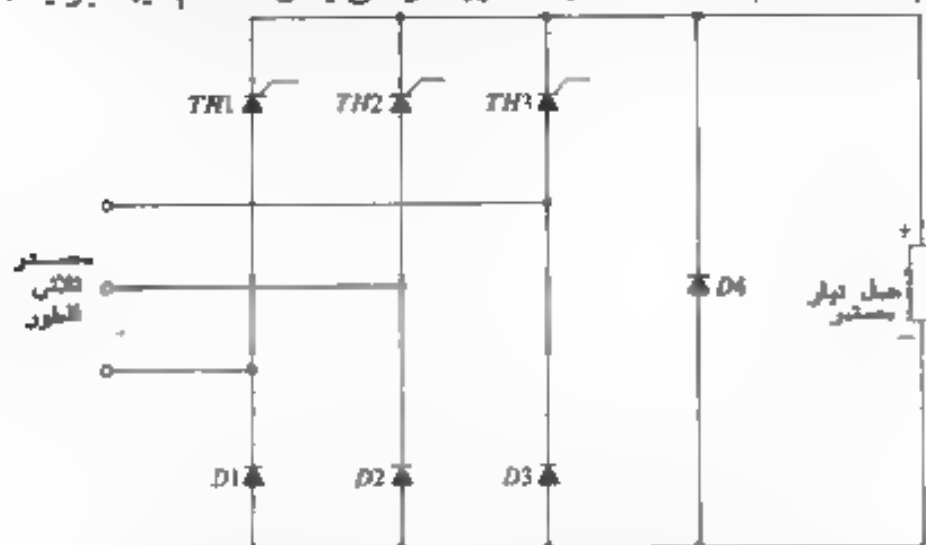
الحهد V_x ومصدر الحهد ، والسماح لراويه تعويق الاشغال بإمكانية التحكم فيها بنظام من صفر الى 150° . ويعتمد قيمة C_1 المستخدمة على خواص المونور ، وقد تزيد القيمة المحفارة أو تقل عن القيمة الموصحة . اذا أصبح المكثف C_1 صم ديره مفتوحة ، مانه يمكن التحكم في راويه التعويق في المدى من صفر الى 90° فقط ، مما يعني ان الآله لن تعمل بكفاءة عند السرعة المنخفضة .

ويستخدم فرق الحهد بين البعطين X و Y لاطلاق الثايرستور . وسأوى الحهد عند النقطة Y بالمعرب قيمة السق .دك « المكسبة » لمصو الانتاج والتي تتناسب بالمالي مع سرعة دوران عضو الانتاج . وهكذا كلما ازداد حهد X عن حهد Y بطلق الثايرستور لحاله من التوصل تسلط

القدرة الى الموتور . ويؤدي تحريك معزلق الفرق الى أعلى [اتجاه R_1] الى انخفاض قيمة زاوية التعميق ، مما يؤدي الى دوران عصى انتاج الموتور بسرعة أكثر هذا وتضمن المكومات R_2 و R_3 لنحطى بحكما منتظما في السرعة في حالات السرعة المنخفضة عندما تكون زاوية التعميق كبيرة .

١٥ - ١١ دائرة قنطرية ثلاثية الطور يمكن التحكم فيها :

يعبر متقوم القنطرة ثلاثي الطور والموضح في شكل ١٥ - ١٢ دائرة متحدة في كثير من المنشآت الصناعية . وتختلف هذه الدائرة عن متقوم القنطرة التي لا يراد التحكم فيها والتي سبق ان وضحت في الفصل الثامن ، في أن وحدات الثايرستور قد حلت محل وحدات الدايدود الثلاثة العلوية . وحيث أن نصف المسار من الدائرة عبارة عن وحدات ثايرستور ، فإنها تعرف باسم دائرة المتقوم القنطري ثلاثية الطور ، والتي يمكن التحكم فيها جريئاً .



شكل ١٥ - ١٢ المتقوم القنطري ثلاثي الطور الذي يمكن التحكم فيه بـ ثايرستور

تعرف دوائر المتقوم القنطري التي تسعمل وحدات الثايرستور الشاملة بدوائر المغير القنطري والتي يمكن التحكم فيها بالكامل . وتختلف النضات المسطرة على الموابات $TH1$ و $TH2$ و $TH3$ وفي الطور كل منهما عن الأخرى بزاوية قدرها 120° وللتحكم في القيمة المتوسطة لحود الخرج من الدائرة ، تنظم كل مضت الموابات لكي تكون إما خلفيه التطور أو ألامية التطور في نفس الوقت .

منصبا يوصل $TH1$ يعود التيار الى المجموعة خلال وحدات الدايدود $D2$ و $D3$ وعندما يوصل $TH2$ فإن التيار يعود خلال $D1$ و $D3$. الخ . علما بأن الدايدود $D4$ عبارة عن دايدود توحيد ويستخدم للأحمال الحثية فقط .

وكما في حالة دوائر قنطرة الدايدود في الفصل الثامن ، فإنه يجب وقاية وحدات الثايرستور من الجهود والتفارات العابرة . وعندما توجد في الدائرة ، يمكن وقايتها بالمصهرات من المواد شبه الموصلة ذات السرعة المرتفعة وكذلك

بالمصهرات عالية السعة المقسمة (R, T, C) . وعلاوة على ذلك فإن وحدات الثايرستور تكون أكثر عرضة لل تلف بالجهود العابرة من أى وحدات الداىود ثنائية الوصلات . ومن إحدى الطرق المستخدمة لوقاية الثايرستور توصل شبكة مكونة من R و C على التوازي مع الثايرستور ، كما هو موضح فى شكل ١٥ - ١٢ .

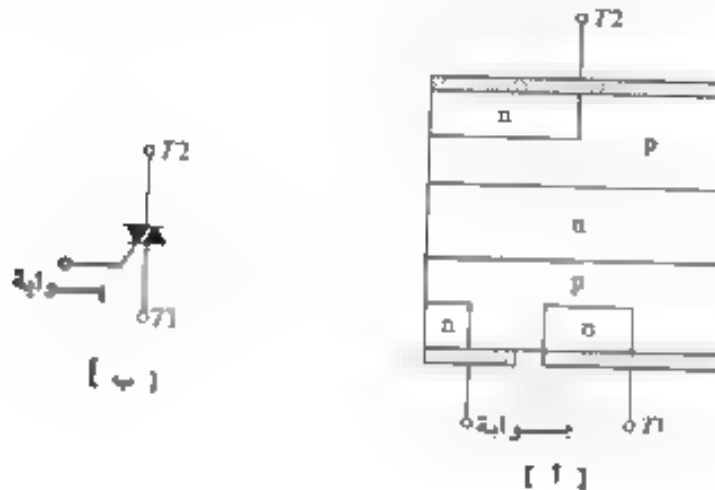


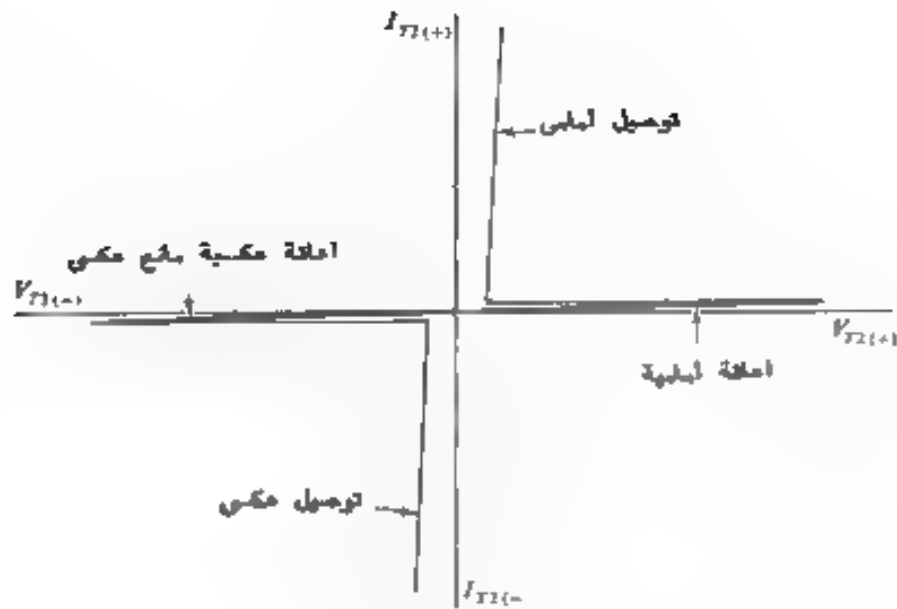
شكل ١٥ - ١٢ وثيقة الثايرستور

وتتخذ المقاومة R والمكثف C فى الدائرة قيمًا شائعة مقدارهما 10Ω و $0.01\mu F$ على التوالي . وتحقق المكثفات R و C اعراضاً أخرى تشمل [أ] تهيئه توزيع جهد منتظم بين وحدات الثايرستور عندما تتحلز عكسياً . و [ب] تهدئة أية تذبذبات قد تحدث بين محالة المصدر والسعة الدائرية لوحدة الثايرستور . وعلاوة على ذلك ، وفى حالة ارتفاع محالة الحمل ، يصبح معدل تغير تيار الحمل عند الوصل (ON) بطيئاً نسبياً ، وفى مثل هذه الحالات ، وفى حالة عدم وجود المكثف C والمقاومة R ، قد يعجز الثايرستور « ليصل » إلى حالة التوصيل عند الوقت الذى تهبط فيه تضاة البوابة إلى الصفر . عند توصيل المقاومة R والمكثف C على التوازي مع الثايرستور ، تؤدي تضاة الانطلاق إلى تفرير المكثف C خلال الثايرستور ، ينتج عن هذا التيار إسقاط كل ثايرستور فى منطقة التوصيل .

١٥ - ١٢ الثايرستور ثنائى الاتجاه أو الترياك :

الترياك هو نظية من مادة شبه موصلة متعددة الطبقات ، ويوضح شكل ١٥ - ١٤ [أ] قطاع مبسط لها . ويمس كل من الرسم التخطيطى [ب] و [ج] الرمز الاصطلاحي للدائرة ، وخواص النظية على الترتيب .





[٤]

شكل ١٥ - ١٦ التراكب وخواصه

للترايك ثلاثة اطراف هي $T1$ و $T2$ والكترود البوابة . وحيث أن التراكب يستطيع أن يوصل في كلا الاتجاهين فإنه لا يمكن اعتبار أحد الطرفين الامسسين [$T1$ و $T2$] على أنه أنود القطيعة . ويمكن أن يعمل التراكب أما على الأسلوب العائق أو على أسلوب التوصيل لكل من قس الطرف $T2$ كما هو موضح في الخواص المبينة في شكل ١٥ - ٤ [ج] . وعلاوة على ذلك ، يمكن أن يطلق التراكب للتوصيل بواسطة إشارة البوابة التي إما أن تكون موجبة وسالبة القطبية . وعلى وجه الخصوص ، يحتاج التراكب إلى تيار بوابة ذي قيمة أكبر من تلك التي يحاجها الفايستور لكي يطلق إلى حالة التوصيل .

طريقة بسيطة لاختيار التراكب :

من الممكن أن تستخدم الطريقة الموصحة في الجزء ١٥ - ٨ [انظر أيضا شكل ١٥ - ٩] لاختيار وحدات الفايستور كذلك لاختيار وحدات التراكب . وحيث أنه من الممكن إطلاق التراكب بأي من قطبية الجهد المسلط فإن قطبية إشارة البوابة وكذلك توصيلات التراكب إلى المقاييس المتعدد الذي لن تؤثر على نتيجة الاختيار . وتعلم قيمة المقاومة بين البوابة والطرف $T1$ كليومسحها المقاييس ، في المادة حوالى بضعة مئات من وحدات الأوم .

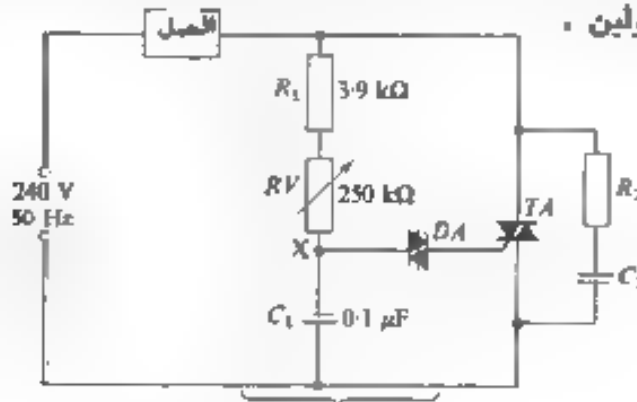
١٥ - ١٣ دائرة الترياك أحادية الطور

يوضح شكل ١٥ - ١٥ [١] دائرة ترياك أحادية الطور يمكن أن تستخدم للتحكم في انسياب التيار المتردد في حمل ما ، ونعتبر هذه الدائرة أساساً لطرق كثيرة للتحكم في الاضاءة . ويمكن التحكم في قيمة ج.م.م تيار الحمل بواسطة مولد النصف الذي يتضمن الدايك DA ، والذي تم شرح طريقة تشغيله في الجزء ١٣ - ١١ من الفصل الثالث عشر . وفي هذه الحالة ، يسلط جود تيار متردد على دائرة التوقيت [المكونة من R_1 و RV و C_1] بحيث تكون قطبيه النقطة X موجهة في النصف الموجب لدورة الشكل الموجي للبصير وسالبة في النصف السالب للدورة . وكنتيجة لذلك ، تتخذ قطبية تفضية موافاة الترياك قطبية متبادلة بين الموجبة والسالبة لجميع انصاف الدورات المعينه من الشكل الموجي للمصدر [انظر شكل ١٥ - ١٥ (ج)] .

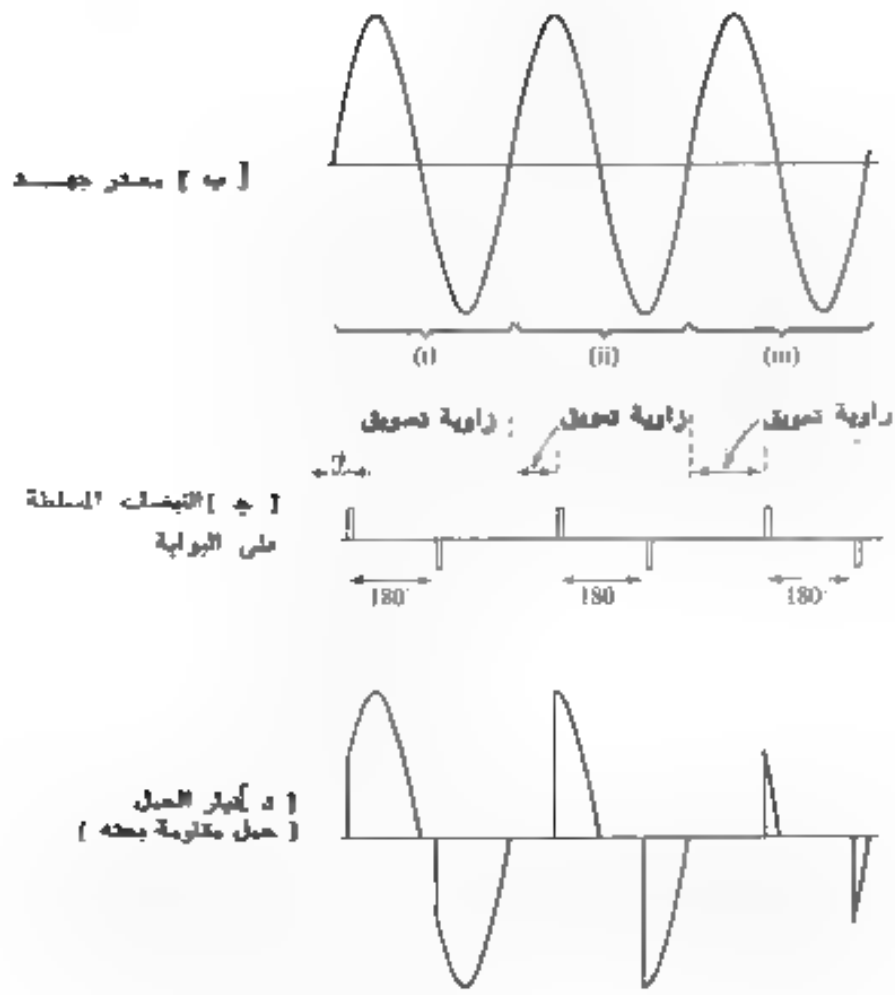
وتتعرض وحدات الترياك لانطلاق خاطيء نتيجة جهود عابرة ويمكن وقايتها ضد هذا التأثير بواسطة شبكة مكونة من مقاومة ومكثف R_2 و C_2 . تقلل هذه الشبكة من معدل ارتفاع الجهد بين طرفي الترياك الى قيمة مقبولة . وتعرف هذه الدائرة الاضافية المكونة من R و C بدائرة المصدر [المتصلة للمصبات] .

وفي الدورة (i) لشكل ١٥ - ١٥ [ب] يشعل الترياك للتوصيل عند نقطه مكررة في كل من نصفى الدورة وينتقد الشكل الموجي للهرج [الرسم التخطيطي د] شكلاً مقارباً للشكل الموجي وفي الدورة (ii) من نفس الشكل تردداد قطبه RV بحيث تصبح زاوية التعميص في كل من نصفى الدورة مساوية لـ 90° . وتقل قيمة ج.م.م تيار الحمل للشكل الموجي (ii) من قيمه ج.م.م للبوحة (i) . وتؤدي زيادة زاوية التعميص [انظر الدورة (iii) الى الانقلاص من قيمة ج.م.م تيار الحمل] .

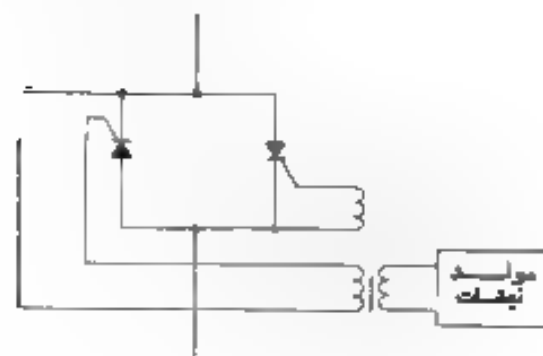
ومن الممكن التوصل الى تحكم مماثل لما وضح سابقاً باستخدام وحدتي ثايرستور موملنين على الفوارى وبجيت يعاكس كل منهما الآخر كما هو موضح في شكل ١٥ - ١٦ . ويستخدم مولد نبضات واحد لاطلاق وحدتي الثايرستور حيث تمد البوابة بالنبضات عن طريق مولد نبضات دي ملفين ثاتويين معزولين .



دائرة توقيت ومولد نبضات



شكل ١٥ - دائرة اسبعية [اصفية الطور للترابك]

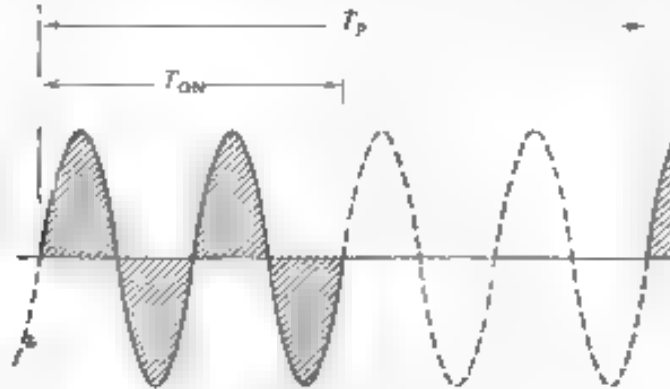


شكل ١٦ - دةني ثايرستور جوسكين على التوازي وجامكسكين

١٥ - ١٤ التحكم في تفجير الاشعال

من احدى عيوب طرق التحكم الطوري السابق توصفها ان التعير السريع للحدد والفتار تقيعة لوصل الثايرستور (ON) عند منتصف الدورة يمكن ان يولد تداخلات لفرقات اللاسلكى .

ومن الممكن استخدام طريقه اخرى بديلة معروفة باسم تفجير الاشعال (تعرف ايضا باسم الاشعال ، عند نقطه الصفر واسم الاشعال عند جهد المصدر واسم اشعال الدورة الكامله) في بعض الحالات للتعليق على هذه المسئلة . وفي هذه الطريقه من التحكم ، تطلق وحدات الثايرستور او الترياك الى التوصليل عند بداية الدورة أى عندما يكون جهد المصدر يساوى الصفر ، وتستمر في حالة التوصليل لعدد من انصاف دورات الشكل الموحى لجهد المصدر . وبعد هذه الفترة من التشميل ، يسمح بايقاف وحدات الثايرستور (OFF) ويستمر الحفاظ على حالتها من الاعاقه لقصعه انصاف دورات اخرى . وعندما يستمر تكرار تتابع الوقائع سالفه الفكر . وعندئذ ، تعتمد القيمة الفعالة للحمل على ذلك الجزء من التتابع الذى يصمح الثايرستور عنده في حالة توصليل . وعلى سبيل المثال ، توجد ثمان انصاف دورات التتابع الكامل المبينة في شكل ١٥ - ١٧ .



شكل ١٥ - ١٧ التحكم في تفجير الاشعال

فإذا كان الزمن الذى توصل فيه وحدات الثايرستور هو T_{ON} ، فلي قيمة ج.م.م جهد الحمل V_O تكون :

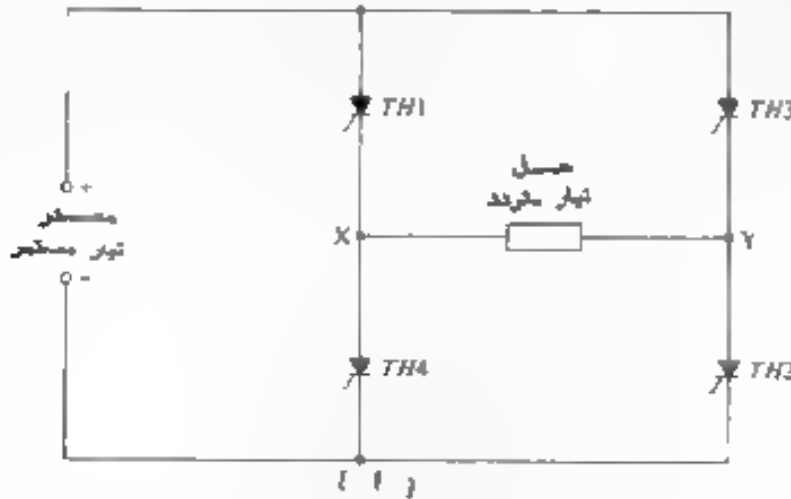
$$V_O = V_s \sqrt{\left(\frac{T_{ON}}{T_P}\right)} = V_s \sqrt{\frac{4}{8}} = 0.707 V_s$$

حيث V_s هي قيمة ج.م.م جهد المصدر و T_P هي الزمن الدورى للتتابع الكامل .

هذا وبتلاتم التحكم في تفجير الاشعال جيدا مع الاحمال ذات الثابت الزمنى الطويل نسبيا ، مثل التحكم في الامران . ومع ذلك ، فهي لا تتلائم مع تطبيقات اخرى مثل التحكم في الاصااة والتحكم في سرعة الحرك الكهربائى ، صحت ان الحمل الدففى للقدرة يحدث تغيرات ملحوظة في الخرج .

١٥ - وحدات الثايرستور العاكسة

العاكس هو دائرة تحول قدرة تيار مستمر الى قدرة تيار متردد ، وتعتبر الدائرة القطرية في شكل ١٥ - ١٨ [١] مثلا على ذلك . وتعمل الدائرة كما يلي



TH2, TH1 TH4, TH3
في حالة توصيل في حالة توصيل
[ب]

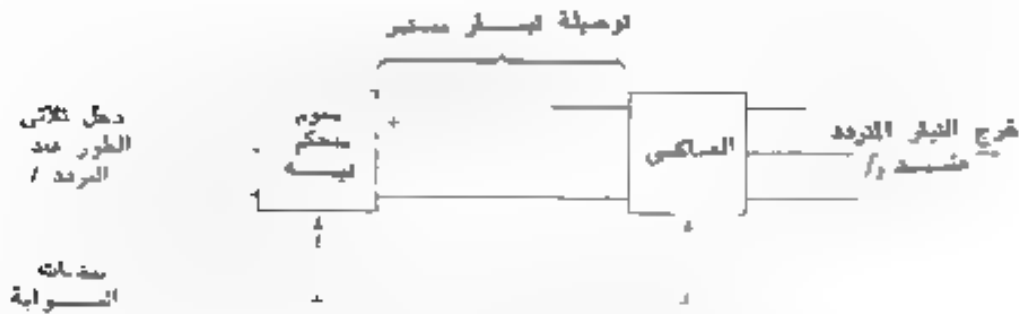
شكل ١٥ - ١٨ دائرة قطرية اسطوانية للعاكس

وتدار ارجاج الثايرستور المتقاطعة قطريا الى حالة التوصيل بالتتابع .
ففي اول الامر توصل وحدتا الثايرستور TH1 و TH2 (ON) في آن واحد وفي نفس الوقت تكون كل من TH3 و TH4 في حالة قطع . وانشاء هذه الفترة من التشغيل يسحب التيار خلال الحمل من X الى Y . وعند الزمن t_1 [الرسم ب] ينفع التيار بالعكس خلال TH1 و TH2 الى قيمة الصفر قبل ان يطلق كل من TH3 و TH4 الى حالة التوصيل . وللتبسيط حفظت تقاسيل دائرة توحيد التيار . وعندما يصبح كل من TH3 و TH4 في حالة التوصيل ، ينعكس اتجاه انسياب التيار خلال الحمل . وعند الزمن t_2 [الرسم ب] ، يدمع التيار العكس خلال TH3 و TH4 الى قيمة الصفر ، ويوصل كل من TH1 و TH2 (ON) مرة اخرى . ويصبح الشكل الموحى للحمود بين طرفي الحمل عبارة عن موجة مربعة كما هو موضح في الشكل ١٥ - ١٨ [ب] ، حيث لا يؤدي مظهرها الى تأثيرات سلبية ظاهرة على الاحمال الصناعية كالموتور الحثي مثلا .

ويمكن الحصول على خرج ذي شكل موجي جيبي متعديل دائرة العاكس
و نستخدم العواكس من هذا النوع بكثرة كمصادر قدرة احتياطية نستخدم في
حاله حدوث عطل في مصدر القدرة . مالمالكس يهيء مصدرا للقدرة للوحدات
الصناعية الاساسية تستمر عادة من البطاريات .

١٥ - ١٦ محولات [متغيرات] التردد

نستخدم محولات التردد من المنشآت الصناعية لمهيئة القدرة لحركات
الادارة الكهربائية بسرعات مختلفة . ففي محول التواصل للتيار المستمر
في شكل ١٥ - ١٩ . نوجد توصيلة تيار مستمر يقوم ثايرستور متحكم فيه
وعاكسي



شكل ١٥ - ١٩ فكرة محول التردد التواصلي للتيار المستمر .

وهنا يعطى المقوم المتحكم فيه مصدرا متغيرا لجهود التيار المستمر والذي
يسلط على العاكس . ويؤدي وصل وحدات الثايرستور في المحول ON و
OFF . سعادات متغيرة ولكن يمكن التحكم فيها ، الى توليد خرج تيار
متردد بترددات متغيرة بواسطة المحول . ويمكن الحصول على خرج جيبي
متعديل دائرة العاكس .

الفصل السادس عشر

معدات الاختبار

تختلف أنواع الاختبارات التي نحري بالنسبة للدوائر الإلكترونية قليلا جدا عن تلك التي تتعلق بالدوائر الكهربائية بصرف النظر عن مقدار الكميات المتضمنة . أى أن كلا المهندسين الإلكتروني والكهربائي يهتمان بقياسات الجهد والتيار والمقاومة والمحث والسعة والتردد ... إلخ . وفى هذا العمل - سنتناول الأنواع الرئيسة من معدات الاختبار - مع الإشارة فى نفس الوقت إلى ما يجد من استخداماتها .

١٦ - ١ المعدات المطلوبة فوق منصة الاختبار

لعل أكثر أجهزة المنصة أهمية هو مقياس متعدد المدى لكلا الفئتين المتردد والمستمع صالح لقياس التيار والجهد والمقاومة (يعرف باسم الـ AVO) * .

نادرا ما يتواجد فوق منصة التشغيل سوى جهاز واحد ، من أنسب نوع على وجه الإطلاق هو جهاز قياس ذو الملف المتحرك . ونهى الأجهزة المرونة بطريقه رقميه للعرض عرضا واضحا ودقيقا ، لكن دوائرها معقدة ، وتتطلب خدمات أحد السببين ممن هم على درجة عالية من المهارة فى حالات الصيانة أو التصليح .

بالإضافة إلى جهاز الملف المتحرك المتعدد المدى والملفوف ، فإن الفولتميتر الإلكتروني - معه مقياس بملف متحرك [ذو معايرة للدخل المرتفعة القيمة ، يعتبر واحدا من الموجودات القيمة .

وتأتى مرسمة أشعة الكاثود للتبديلات (CRO) ، على درجة عظيمة فى ترتيب الأهمية ، حيث من الممكن أن تستخدم لتتبع الأشكال الموجية ، بالإضافة إلى إمكانية استعمالها كجهاز للقياسات . فمستخدام هذه المرسمة ، يمكن قياس كميات مثل الجهد مع الفترة الزمنية وطريقته مباشرة وعند الاستعانة بمعدات أخرى مع هذه المرسمة لى الإمكان القياس بقياس التيار والمقاومة وكميات أخرى .

* هذا هو الاسم الشائع فى اللغة العربية من رأى المترجم وهو يختلف عن VOM الاسم الذى الذى نكره المؤلف .

وان اصابه اذى مبدءه مومن مصدرة التشعيل ليمثل فى متذبذبات الترددات السعوية او مولد الاشارات والقادر على توليد موجات حسنة وبوحث مرمية فى ذلك المدى من الترددات الذى يبدأ من حوالى 10 Hz وسهى 100 k Hz او اكثر .

لكى . يمكن القيام ببعض الاختبارات السعطة ، فى بعض الحالات ، باستخدام المقاس متعدد المدى .

ومن احوال اختيار المعداد او صيانتها ، على مصدر القدرة المحرك معتبر واحدا من الموحودات الهامة اللازمة . ومن الممكن ان يكون هذا المصدر اى شئ ، ابتداء من صندوق مصغرة بطاريات حانه الى مصدر قدرة مستقر ومزود بامتقنيات للتوقيه فى حالة زيادة التيار وزيادة الجهد .

ولا يسمى ان نطو مصدرة التشعيل من سوسمة اجهزة واحدة منها متاديق المقاومات والمكثبات الاندالية تحوى على معلومت ومكتبات بقيم حيث يمكن انتقاء المقاومات بواسطة معانيخ . ومن الممكن استخدام هذه الصلطق فى حالة تصميم دوائر جديدة بالاصانة الى امكانية استخدامها كدائل مؤقته لوحداث بالية وعلاوة على ذلك ، يحتاج مهندسى الخدمة الى كاويسى لحلم | واحده منها مصغرة التفسير لاشغال الدوائر المتكاملة المدسة | يمكن ، ورتصبات . وحدات ثرع الاسلاك ، قواطع معانيخ ربط من النوع المنوح والنوع المقبول ، وكذلك معانيخ الراومه المدسة allen keys

غادا ما انتصفت ورشة اكثر شمولاً ، فيتمنى ان تتضمن اجهزة اختصار بالصمايات والترانزستور ، مرسومات المحنى بالترانزستور ، اجهزة قياس التردد الرقمية وكذلك العدادات وساعات التوقيت .

١٦ - ٢ أجهزة قياس الملف المتحرك متعددة المدى

نظرا لان المقاومات فى كثير من الدوائر الالكترونية محد قويا عالىة جدا ، تعادل فى الغالب عدداً من آلاف من وحدات الاوم او حتى مصعة ملايين من وحدات الاوم ، فل مستويات قيم التيار المصغرة تصمح بمحقضة فى الواقع على الوجه ومن الامصل ، ان يعطى اى جهاز متعدد المدى ، يستخدم لقياس التيار فى هذه الدوائر ، بالضرورة ، انحرافاً عبر كل المقاس (F.S.d) | لمدى التيار المستمر الاكثر حساسية ويتيار قدره 50 μA لو اقل . ويبلغ مقدار المقاومة المقاسة بين طرفى جهاز شائع من مثل هذا النوع ب قيمة 2500 Ω بالنسبة لمدى التيار 50 μA مما يعطى فرق جهد عبر الجهاز مقداره 0.125 V فى حالة الانحراف عبر كل المقاس . ومن الممكن ان يشكل مثل هذا النوع من المقاس الاساسى الذى يعمل عليه جهازاً متعدد المدى لكلا التيارين المتردد والمستمر . وسيوصف فيما يلى طريقة استخدام الجهاز لقياس القيم المختلفة للتيار والجهد والمقاومة .

مبدى قياسات التيار : لنفترض انه من المطلوب تحويل جهاز يعطى انحرافاً عبر كل المقاس عند مرور تيار قدره 50 μA الى مقاس

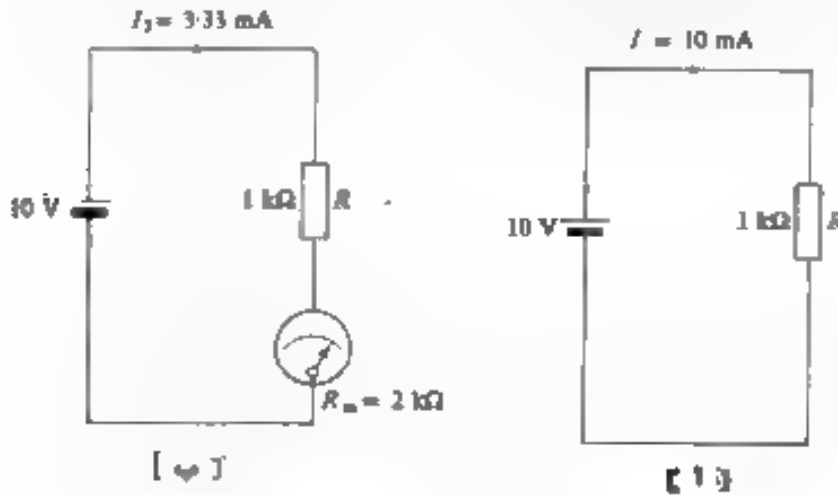
يعطى انحرافا عبر كل القياس عند مرور تيار قدره 1 A من الممكن الاستعانة
بشكل ١٦ - ١ لتوضيح الطريقة التي تتبع لتحقيق هذا العرض .



شكل (١٦ - ١) في مدى تيار جهز الملف المتحرك

فلهذا العرض يتم توصيل R_m على التوازي مع القياس بحيث يمر الجزء
الاكبر من التيار خلال المحرى ، وفي الحقيقة ، تلعب قيمة التيار المار
بالمحري ما مقداره 0.99995 A بينما يمر تيار قدره 50 μA فقط خلال الملف
المتحرك داخل المقيس . ومن الممكن استخدام تيار قيمته 50 μA خلال الملف
المتحرك ، فيما يتعلق بأجهزة القياس البخارية ، ليتمكن قياس تيارات تتراوح
قيمتها بين 50 μA الى مصفحة وحدات من الأمبير . ومن الواضح ، أن قيمة
مقاومة المحرى أقل مقدارا من قيمة مقاومة ملف القياس المتحرك ، كما
وإن قيمة معامل المقاومة مع درجة الحرارة ينبغي أن تتحدد ماثل قيمة صغيرة
حدا من أجل الحفاظ على درجة دقة الجهاز عبر مدى واسع لتغير درجة
الحرارة .

وينبغي أن تتحدد الاحتياطات عند قياس قيمة التيار في الدوائر الإلكترونية
والا قد يغير مقاومة القياس نفسه من قيمة تيار الدائرة كما يتضح في
شكل ١٦ - ٢ امريش أن التيار المار في الدائرة ١٦ - ٢ (أ) هو المراد
قياسه . القيمة الفعلية لهذا التيار هي



شكل ١٦ - ٢ وضع يمكن أن يؤدي الى الخطأ عند قياس تيار في دائرة إلكترونية
الحقيقية التيار المار في الدائرة تكون

$$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{ V}}{1 \times 10^3 \Omega} = 10^{-2} \text{ A or } 10 \text{ mA}$$

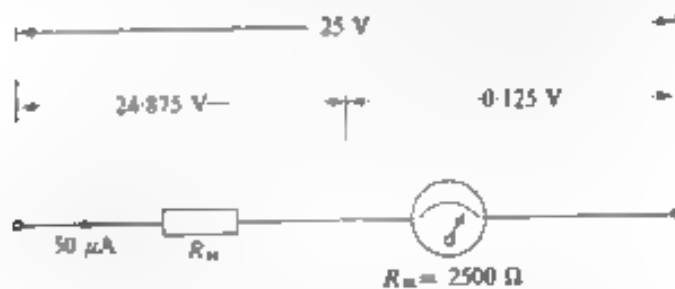
ماذا كان هناك جهاز واحد فقط متاح ذو مقاومة داخلية قدرها $2 \text{ k}\Omega$ فإن التيار الذي يشير إليه المقاس ، عندما يتم توصيله مع الدائرة (انظر شكل ١٦ - ٢) ب | يكون

$$I_2 = \frac{10 \text{ V}}{R + R_{in}} = \frac{10}{3 \times 10^3} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ A or } 3.33 \text{ mA}$$

حيث R_{in} هي مقاومة الملف المتحرك بالجهاز ، وتصبح القيمة التي يشير إليها الجهاز أقل بمقدار 67% من القيمة الصحيحة .

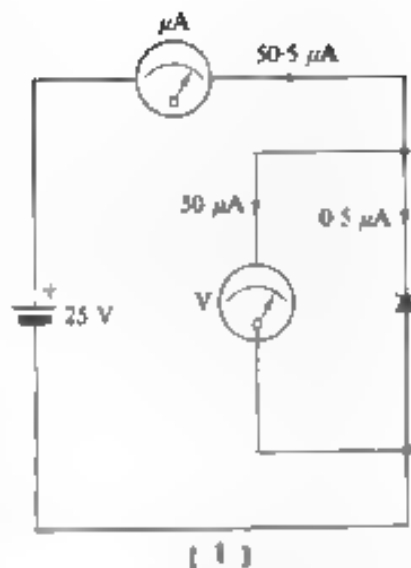
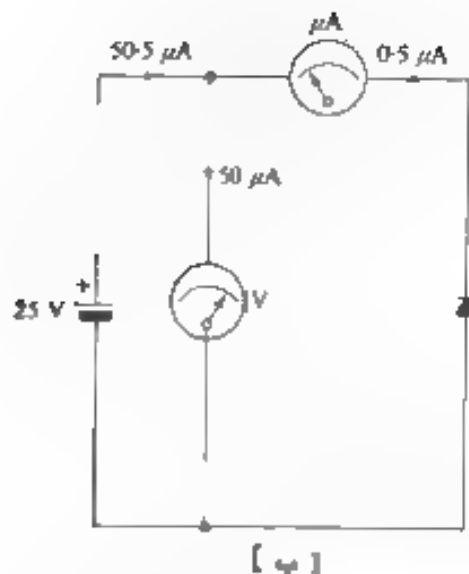
ولكن لا يؤثر الأميتر أو الميكرواميتر في أحوال الدائرة، يسمى ن نقل مقاومة مكتسب جدا عن مقاومته باقى اجزاء الدائرة ، ومن المثل الموصح عاليه . غير الا ان لا يكون مقاومة الاميتر المستخدم ، قد اتحدت قيمة اكبر من حوالى 10Ω . **مدي قياسات الجهد** ، لنفترض انه من المطلوب تحويل المقاس بتيار $50 \mu\text{A}$ ، الى موليمتر — لانحراف عبر كل المقاس قيمه 25 V . ويوضح شكل ١٦ - ٢ الاساس الذى تنس عليه هذه الدائرة ، اذ توصل المقومه الهبوطية R_{in} على النوائى مع المقاس بحيث يصبح فرق الجهد عبر R_{in} مساويا لـ ٢٥ فرق الجهد عبر المقاس — 25 فولت .

فإذا كان فرق الجهد عبر الجهاز يساوى 0.125 V عند الانحراف عبر كل المقاس . فإن فرق جهد الجهد عبر R_{in} يساوى 24.875 V عند مرور تيار مقداره $50 \mu\text{A}$ ، بمعنى أن قيمة R_{in} تكون $497500 \Omega = 24.875.50 \times 10^6$ وباستخدام قيم مختلفة ومتعددة للمقاومة R_{in} ، يمكن انشاء فولتميتر معددى المدي .



شكل ١٦ - ٢ دائرة تستخدم لتحويل ميجرو اميتر الى فولتميتر .

وبالرغم من أن الفولتميتر الذى سبق عرضه لا يتطلب سوى تيار قيمه $50 \mu\text{A}$ لكي يعطى انحرافا عبر كل المدي ، فإن الاستخدام الخاطئ للجهاز قد يعطى نتائج مضللة في بعض الدوائر . فمثلا ، اذا استحدثت الدائرة الموضحة في شكل ١٦ - ٢ [١] لتحديد قيمة تيار التسرب من الدايود فلنأنا نتحصل على نتائج غير صحيحة نظرا لأن الميكرواميتر يقرأ مجموع تيار التسرب من الدايود وتيار الفولتميتر . ويمكن الحصول على نتيجة دقيقة .



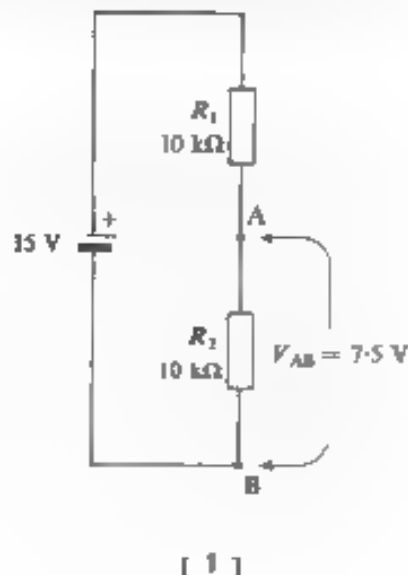
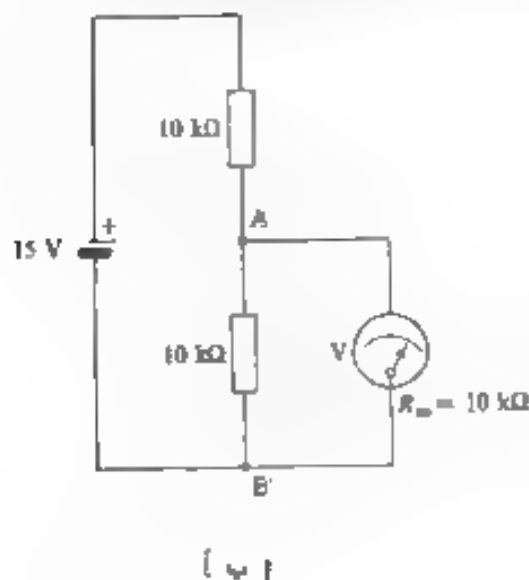
شكل ١٦ - (ا) من الممكن أن تؤدي الدائرة [ا] لأخطاء في القراءات عند تعديل قيم مقاومة التيار متر في دائرة الكارونية .

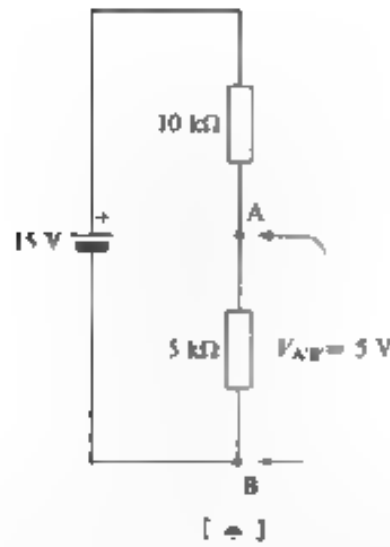
بتعديل الدائرة لتصبح كما لو صممت في شكل ١٦ - [ب] حيث يمر تيار العرسيب للدايود بالنسبة لهذه الدائرة خلال الميكرو أميتر .

ويوضح شكل ١٦ - ب وضعا يؤدي الى اخطاء في قراءات الجهد في بعض الحالات في شكل ١٦ - ب [ا] ، يكون الجهد بين نقطة A ونقطة B

$$V_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 15V = \frac{10}{20} \times 15 = 7.5V$$

ولنفترض انه قد اتخذت محاولة لقياس هذا الجهد بواسطة فولتميتر بمقاومة داخلية مقدارها $10k\Omega$ ، كما هو موضح بشكل ١٦ - ب [ب] . في هذه الحالة ، يقلل الفولتميتر من القيمة الفعلية لمقاومة الدائرة بين





شكل ١٦ - ٥ إمكانية حدوث الخطأ في قراءات الفولتميتر باستخدام مولتيتر بمقاومة داخلية أقل كثيراً من اللازم .

المقطعين A و B من الشكل ١٦ - ٥ [ب] إلى 5 kΩ والموضحة في الشكل ١٦ - ٥ [ج] ، وتعطى قيمة الجهد V_{AB} التي يشير إليها الفولتميتر هكذا .

$$V_{AB} = \frac{5}{5 + 10} \times 15 = 5 \text{ V}$$

ولكن يعطى الفولتميتر ناتجا صحيحا لقيمة الجهد ، ينبغي أن تزيد مقاومته الداخلية كثيرا جدا عن المقاومة التي يقاس الجهد بين طرفيها . فمن الأفضل في الحالة الموضحة بالشكل ١٦ - ٥ [أ] ، أن تزيد مقاومة المولسيبر الداخلية ، بالضرورة ، عن مائة ضعف قيمة المقاومة المقاسة بين تقطين A و B ، أي أن المقاومة الداخلية يتحتم أن تعادل 1 MΩ أو أكثر هذا وينبغي استخدام مولتيتر الكتروني ، كلما أمكن ذلك ، حيث أن مقاومته الداخلية ذات قيمة مرتفعة للغاية .

وتعنى قيمة مقاومة الجهاز الفعلية ، دائما وأبدا ، بوحدات الأوم بالنسبة إلى وحدات الفولت عن الانحراف عبر كل المقياس . وتمثل هذه القيمة المطلوب قيمة التيار اللازم لكي يسبب انحرافا عبر كل المقياس . وهكذا ، يوصف مقياس مللي متحرك ذو تيار قدره 50 μA ، وكان له 20 000 Ω/V للملف المتحرك ، حيث

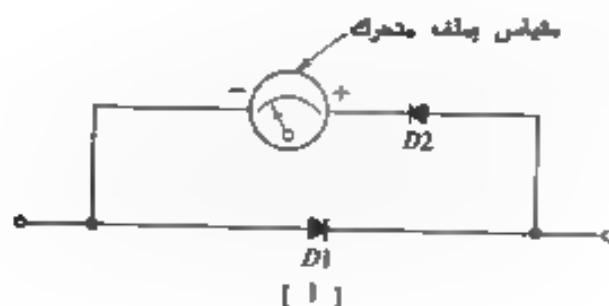
$$\frac{1}{50 \mu A} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 20\,000 \Omega/V$$

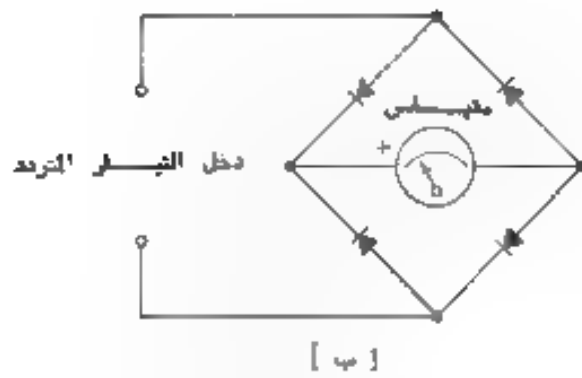
وعندما يستخدم مع مدى للجهد قدره 25 V عند الانحراف عبر كل المقياس فإن مقاومة الجهاز تعادل $500\,000\ \Omega = 25 \times 20\,000$ وأن جهازاً من هذا الطراز يعتبر مناسباً لأغراض القياس الأساسية ، ولكن تحت القيود الموضحة عليه .

مدى قياس التيار المتردد : تستخدم الأجهزة التي تقيس التيارين المتردد والمسيطر على الدوام ، مجموعة الملف المتحرك مع مقوم [أ] للموجة النصفية أو للموجة الكاملة [ب] . وقد أسس تدريج التيار المتردد للمقياس بفترض الشكل الموجي للآشارة المراد قياسها تتخذ شكلاً حبيبياً . فإذا لم يكن هذا هو الحال ، أصبحت القراءات خاطئة .

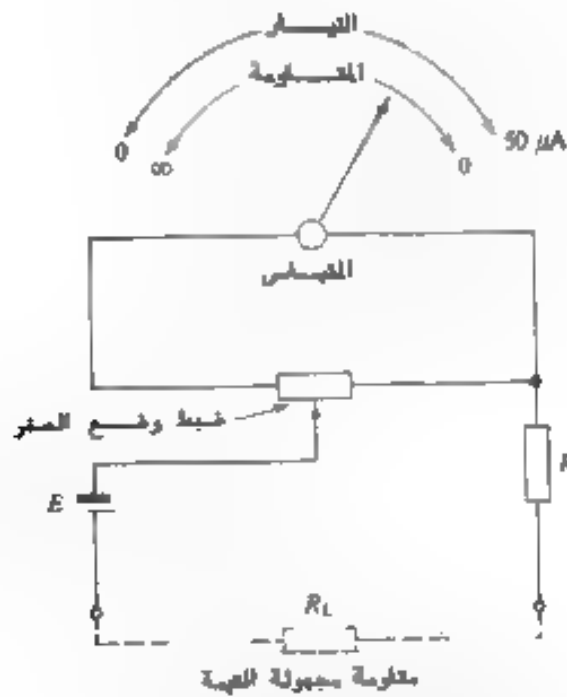
يوضح شكل ١٦ - ٦ [أ] دائرة موجة نصفية تستخدم في صور شتى لأجهزة صغيرة متعددة المدى تصلح لكلا التيارين المتردد والمسيطر . وفي هذه الدائرة ، يقوم الدايمود $D1$ بتفويت المقياس خلال نصف دورة من موجة التيار المتردد ، لكن التيار يمر في المقياس خلال النصف الآخر من الدورة عن طريق $D2$. ويوضح شكل ١٦ - ٦ [ب] دائرة مقوم للموجة الكاملة . وعالياً ما تتم معايرة الأجهزة متعددة المدى لتستخدم مع 50 Hz إلا أنه من الممكن استخدام أنواع جيدة من هذه الأجهزة لمدى الترددات التي تبدأ من 15 Hz إلى 15 KHz .

مدى قياسات المقاومة : من الممكن قياس قيمة المقاومة المجهولة بتحديد مقدار التيار المار بالمقاومة إذا ما تم توصيلها لمصدر جهد . ويوضح شكل ١٦ - ٧ فكرة عمل كثير من دوائر الأوميتر . فبيان حرف الصفر 0 بالة الانطيريه فوق تدريج الأوم للجهاز تمشي مع تلك الحالة التي يمر بها تيار يعطى انحرافاً عبر كل المقياس . ويتم ضغط وضع صفر الجهاز بإحداث قصر عبر طرفي الاختبار للجهاز مع ضغط منزلق مقياس الجهد RV حتى يظهر المؤشر انحرافاً عبر كل المقياس أي يشير إلى الصفر فوق تدريج الأوم [أ] . فإذا ما تم توصيل مقاومة مجهولة R_x لطرفي اختبار الجهاز فإن قيمة المقاومة تظهر فوق مقياس مدرج بقيم المقاومات .





شكل ١٦ - ٦ ثولية بسيطة لدائرة مقوم موجة نصفية [ب] دائرة موجة كاملة .



مقاييس الاختيار متعددة المدى : المقياس المنمد هو جهاز اختبار متعدد الاستعمال ، بحيث يسمح بقياس مدى واسع من القيم للتيار والجهد والمقاومة . وتتم هذه العمليات في العادة عند زوج من أطراف الجهاز ، حيث يوصع المقياس طبقا للكيفيات المختلفة بواسطة مفتاح فوق غطاء الجهاز .

ويبلغ طول مقياس الجهاز من النوع الحبد حوالي 125 ملليمتر ، ويتضمن

المقياس مرآة لميكس مستخدم الجهاز من محو القراءات الحسنة نتيجة اختلاف المنظر وقد تكون حدود المدى الشائعة هي

الجهد [لليارين المردد والمستم] — 1000 V و 300 V و 100 V و 30 V و 10 V و 3 V و 1 V .
التيار [تيار مستمر] 10 A و 1 A و 100 mA و 10 mA و 1 mA و $300\text{ }\mu\text{A}$ و $50\text{ }\mu\text{A}$.

التيار [تيار متردد] — 10 A و 1 A و 100 mA .

المقاومة — ثلاثة حدود للهدى $0-20\text{ M}\Omega$ و $0-0.2\text{ M}\Omega$ و $0-2\text{ k}\Omega$ [المدى المعتاد أو مدى « اوم » (ohms)] هو المدى $0-0.2\text{ M}\Omega$.

ويمكن مد حدود المدى الموضحة عليه بواسطة مصاعفات ومحركات ومحوالات تبليز .

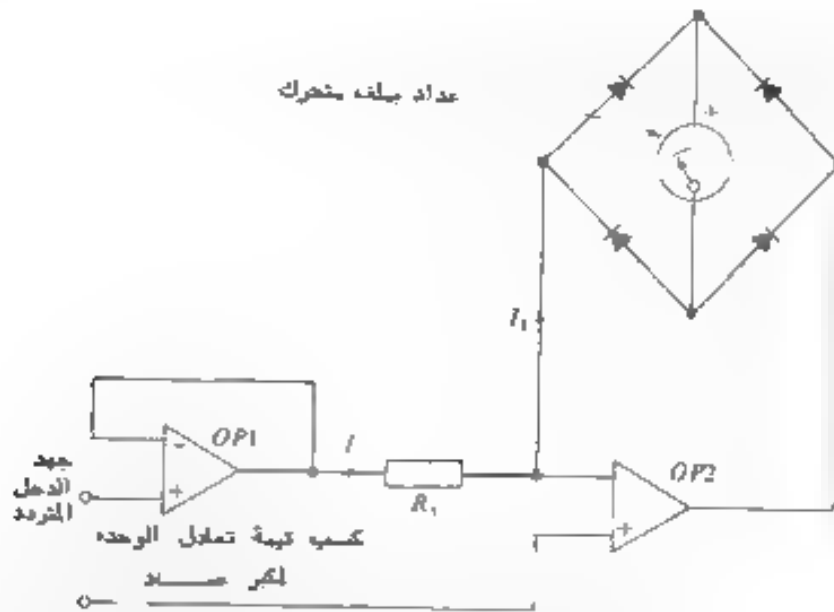
وتوصل البطارية الداخلية بحيث يحدد الطرف بالعلامة "+" نقطة سالبة، ويحدد الطرف بالعلامة "-" قطبيه موجبة ، وذلك اذا وصل الجهاز طبقا لمدى اوم ، ففي حالة توصيل مقاومة بين طرفي الجهاز تكفل هذه القطبيتين مرور التيار داخل الطرف "+" من الجهاز ليكتل بدوره انحراف المؤشر في الاتجاه الصحيح . وعند التوصيل لمدى « اوم » فان قيمة المقاومة الداخلية للجهاز يشيع استعماله من النوع الحد تلمح حوالي $2\text{ k}\Omega$ سببا تلغ ثبية الجهد الطرعى عند فتح الدائرة حوالي 1.6 V .

١٦ — ٣ أجهزة الفولتميتر الالكترونية

عند احد القياسات في الدوائر الالكترونية ، فلي للوع التقليدي من الاحهره متعددة المدى عيوب متعددة منها الاستحالة الرقعية المحدودة وصغر قيمة مقاومتها الداخلة نسبيا . كما وان الاحهزة متعددة المدى غير صالحة وعلى وجه العموم ، لقياس قيم الجهد الصغيرة هذا .

وتتلخص احهزة الفولتميتر الالكترونية ، والتي تحتوي مكبرات ، من الصغوراء الموصحة عاليه اذ يبلغ مرضي نطاقها عادة بضعة ملايين من الهرتر ومن الممكن ان تصل قيمة المقاومة الداخلية الى $10\text{ M}\Omega$ او أكثر . ولعظم احهزة الفولتميتر الالكترونية المستحدمة في الاعراض العامة حدود للمدى ابتداء من 1 mV عند الانحراف عبر كل المقياس الى 500 V عند الانحراف عبر كل المقياس ، بالنسبة لكل جهاز . ويتم تدريج مقاييس التيار المتردد لهذه الاحهزة على اساس اداء القياسات لوحات حبيبة فادا لم يكن هذا هو الحال ، تصبح القراءات عبر دفقة . ويبد انه في حالة الاحهزة المعقدة التركيب ، قراءة الـ ح.م.م الحقيقية ، يمكن الحصول على قراءة ح.م.م حقيقية في حالة الاشكال الموجية اللاهبيه .

ويوضح شكل ١٦ - ٨ فكرة عمل واحد من أشكال العولميتر الإلكتروني والذي يستخدم اثنين من المكبرات التشغيلية ، ويتم توصيل OP 1 مهينة



شكل ١٦ - ٨ أساس عمل واحد أشكال العولميتر الإلكتروني ذي مقاومة الدخل المرتفعة

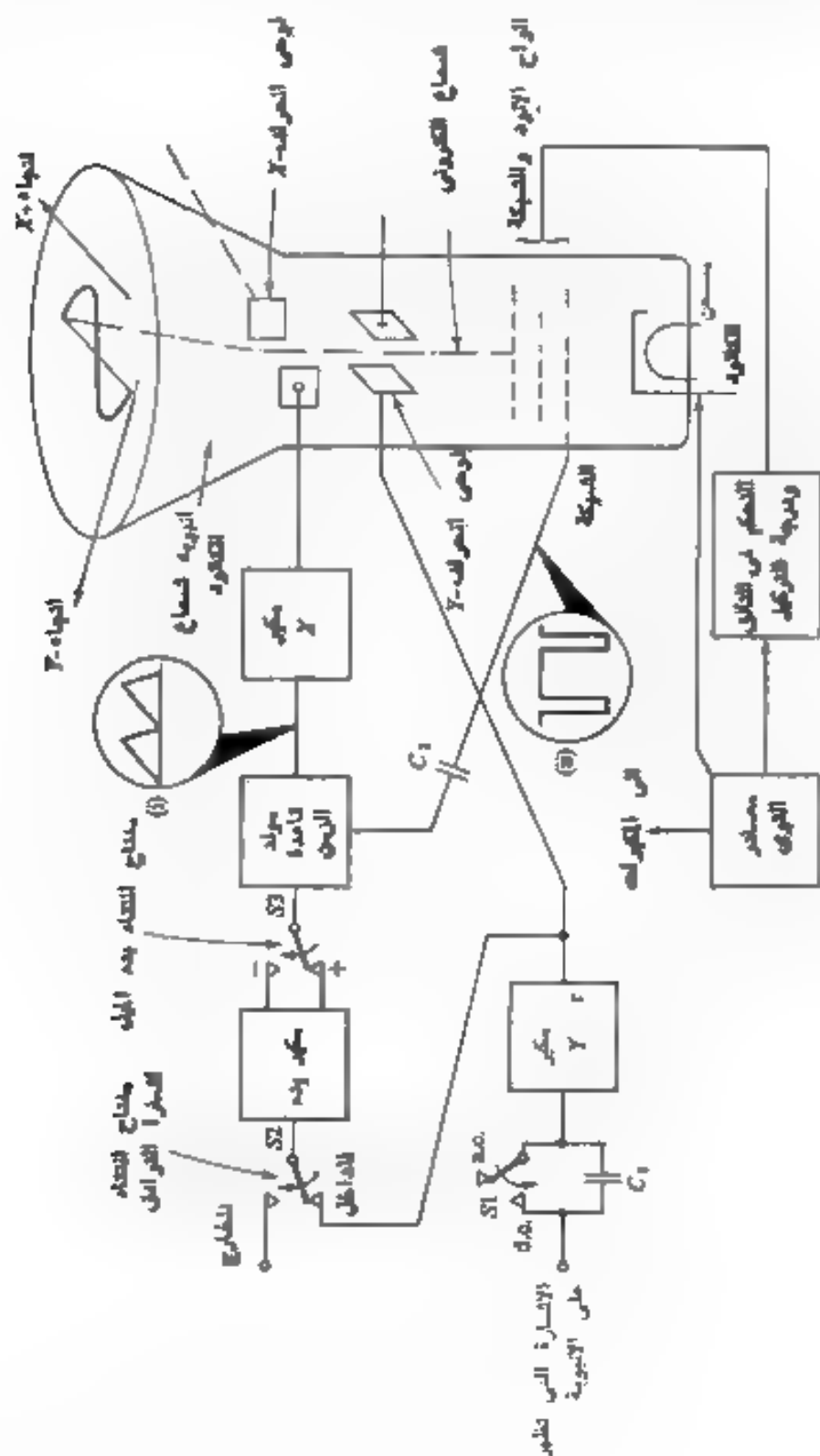
تأمن جهدي . لمعطي كسب جهد تطلع قيمته الوحدة مع معاوقة دخل لها قيمة عالية جداً . ويمثل المكبر OP2 قلب الجهاز الناقل ، والميلار I_1 ، والذي يمر من R_1 . يمر أيضاً خلال المقياس بملف المتحرك . تصعد قياس كميات تتعلو بالتيار المستمر ، واد كانت قيمة R_1 تعادل $10\text{ k}\Omega$ ، فإن تيار المقياس يصبح 0.1 mA لكل وحدة مولت مسطرة عند الدخل . وعند قياس كميات تدعول بالتيار المتردد . يسمى معبر قيمة R ليصبح $9\text{ k}\Omega$ حتى تعطي مبداه متوسطة لتيار المقياس تعادل 0.1 mA لكل وحدة فولت ج.م.م مسطرسه عند الدخل . ومن الواضح أن قيمة R_1 مد عبرت حتى يمكن أحد عامل الشكل للموحة الحسية في الاعتبار .

١٦ - ٤ مرسومات أشعة الكاثود للتنبذبات

يمثل أنبوبة أشعة الكاثود قلب الجهاز الناس حيث يؤدي شعاع من الإلكترونات إلى ظهور نقطة مصبنة فوق ثلاثة الأنوية الضورية (أنظر شكل ١٦ - ٩) . وعن طريق المحكم من حركة النقطة في كل من اتجاهي X ، Y أي أفقياً ورأسياً على التوالي A ، يمكن رسم الأشكال الموحدة فوق وجه الأنبوبة .

ويتم توصيل الإشارة المراد عرضها لمكبر Y عن طريق المنساح S_1 في شكل ١٦ - ٩ . وفي الوضع الموضح ، تنقل الإشارة خلال المكثف C_1

والذى يقوم بدور المكثف عائق التيار المستمر ، بحيث لا يسلط الى المسكبر سوى مكونات التيار المتردد من الاشارة . فلذا ما اريد التحقق من اشارة مزلفة من التيارين المتردد والمستمر ،



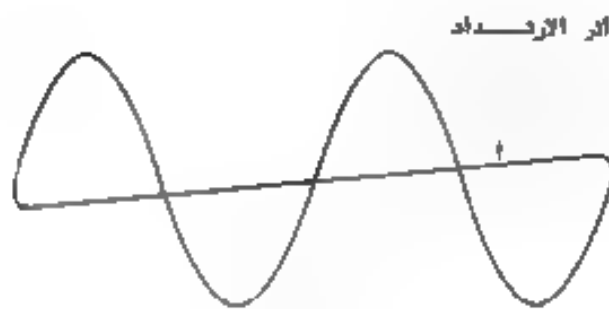
شكل ١٦ - رسم لطيفتين لمرحلة مرسمة الحزمة للتيار المتردد للتيار المتردد

يتم توصيل A للوصع ϕ عند تسليط الإشارة المؤلفة الى المكبر .
ويسلط الخارج من المكبر γ الى لوحى انحراف γ ، مما يؤدي الى
انحراف الشعاع الإلكتروني بالانسيابية في الاتجاه γ بمقدار يتناسب مع
شدة الجهد المسلط بين اللوحين . ويتم أيضا تسليط الخارج من هذا المكبر
على دائرة قاعدة الرن من طريق مكبر مدء دى وظلف سيتم سردها فيما يلي:

ويتولى جزء الجهاز الحاص بقاعدة الزمن توليد عدد من الاشكال الموجية
لن أهمها هو الشكل الموجى لقاعدة الزمن والذي يمثل في موجة سن
المنشار المضمنة في القطعة (i) شكل ١٦ - ٩ . وتستخرج هذه الموجة
لتسبب انحرافا للشعاع الإلكتروني داخل الأنبوبة في اتجاه X ويتولى جزء
الجهاز الخاص بقاعدة الزمن بالاضافة ، توليد الموجة النبضية المضمنة في
القطعة (ii) شكل ١٦ - ٩ ، حيث يتم تسليطها على شبكة الأنبوبة عبر C_2
وتعرف الموجة النبضية أيضا ، باسم الموجة النبضية المسحة ، والفرص
منها الاقلال من تاللق القطعة المضمنة فوق الشاشة الى درجة الصفر في الفترة
بين نهاية كل مسح في اتجاه X وبداية المسح التالي . وتسمح هذه الخاصية
للمشاهد أن يرى موجة الدخل فقط معروضة فوق الشاشة . ويوضح جزء
الشكل ١٦ - ١٠ [أ] ، [ب] عرضين مألوفين بإجراء عملية مسح وبدون
إجراء أي مسح على التوالي .



(١٣)



(ب)

شكل ١٦ - ١٠ عرض الاشكال الموجية [أ] مع تسليط نبضات المسح ، [ب] بدون
تسليط نبضات المسح .

ويتم التحكم في المعدل الذي تسمح به النقطة المضيئة شاشة الإنبوية عن طريق تغيير ميل الشكل الموجي لقاعدة الزمن . فكلما زاد الميل .

كلما زادت سرعة مسح النقطة المضيئة عبر الشاشة . ويتم التحكم في ميل الشكل الموجي لقاعدة الرسم بدوره ، بواسطة دائرة مقلومة ومكثف ، حيث يتاح بضبط لها فوق واجهة الجهاز [انظر شكل ١٦ - ١١] .

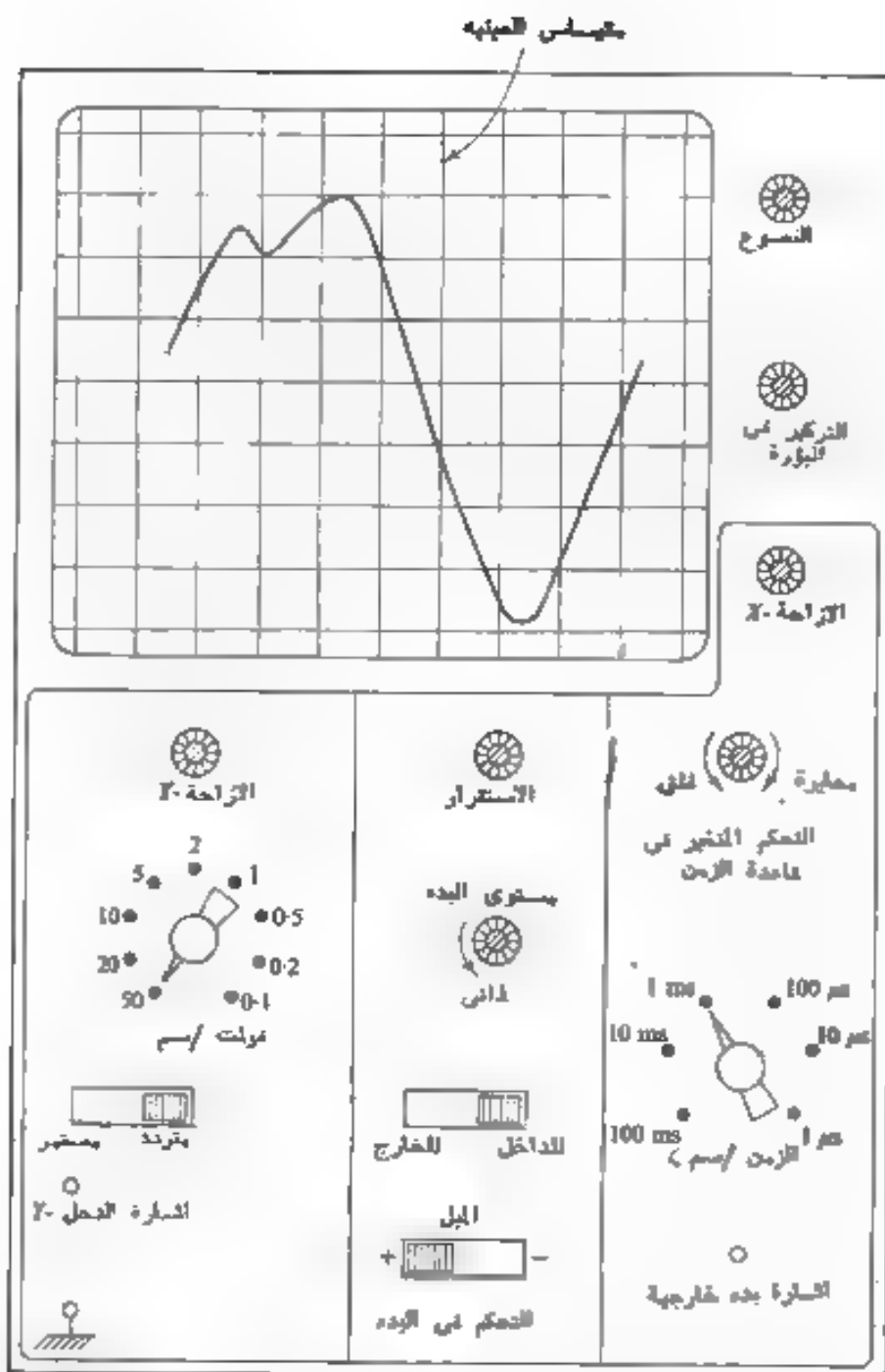
وفي أثناء معالجة الاشكال الموجية ، فمن المناسب دفع قاعدة الزمن لانبدا عملية المسح عندما يصبح معدل السعير موجب الإشارة . ويوجد مفتاح [S3 في شكل ١٦ - ٩] لمعظم مرشحات التذبذبات يسمح تنفيذ هذا الانتقاء . وقد يكون بدء تشغيل قاعدة الزمن عندما يكون ميل الإشارة الواردة سالبا ، ومن الممكن انتقاء هذا البدء بواسطة نفس المفتاح . ويقع هذا المفتاح أسفل لوحة التحكم الوسطى في شكل ١٦ - ١١ ، وقد وضعت عنده علامتي + و - ، « - » لتشير الى ميل الموجة المعروضة عند لحظة بدء عملية مسح قاعدة الزمن . وحيث أن المفتاح في شكل ١٦ - ١١ هو عند الوضع « + » ، فإن الاثر المعروض يبدأ عند معدل موجب .

غالبا ما يتطلب الأمر أن يتزامن العرض فوق الشاشة مع الإشارة المراد مشاهدتها - وتوجد بعض الحالات التي يسمح من المرغوب فيه بدء الشكل الموجي لقاعدة الزمن من مصدر اشارات منفصل . وقد رُوِد في شكل ١٦ - ١٠ ما يسمح بتحقيق هذا الوضع بواسطة المفتاح . إذ أنه يسمح بتحويل مهمة التحكم في دائرة قاعدة الزمن إما الى الإشارة الواردة أو الى إشارة أخرى خارجية .

ويوضح شكل ١٦ - ١١ الواحها الإلمانية لنوع مألوف لرسمات التذبذبات وللمعظم مرسمات أشعة الكاثود للتذبذبات بقياس مخرج [يعرف باسم مقياس العيبية] ويندوز فوق شاشة بلاستيك شفافة في مقدمة ثنوية أشعة الكاثود [الشاشة] . ويسمح هذا باستخدام مرسم أشعة الكاثود لتذبذبات كجهاز للقياسات. وتتعلق المضابط في أسفل يسار الواجهة بالمكبر Y وتحتوي مفتاحا للتيارين المتردد والمتغير [S1 في شكل ١٦ - ٩] ، مع مضبط للكسب - Y [تحت علامة Volts/CM] وضبط الزهزجة - Y . والفرض من مفتاح VOLTS/CM هو تعبير كسب جهد المكبر - Y حتى يمكن متابعة الاشارات الصغيرة أو الكبيرة المقدار . وفي الوضع المبين 50 V/cm [يمكن التحقق من جهد بين القمطين مقداره

$$50 \text{ V/cm} \times 8 \text{ cm} = 400 \text{ V}$$

ويسمح هذا بالتحقق من الشكل الموجي لجهد المصدر 220 V ج.م.م يصبح الجهد بين القيمتين في هذه الحالة $679 \text{ V} = 240 \times 2/2$. [فإذا انبر مفتاح الـ VOLTS/CM الى وضعه الـ 0.1 ، فإن هذا يؤدي الى انحراف - Y كل مقدار 1 cm عند إشارة 100 mV بين القمطين . ويستطيع مشغل الجهاز أن يزحزح كل الاثر إما الى أعلى أو الى أسفل في الاتجاه - Y بواسطة المضبط - Y المتغير .



شكل ١٦ - ١١ الواجهة الامامية لرسمية ظيغيات مكالوفة بخرقة عرجة واحدة .

ونسبح المضطرب المتغيرة تحت الكائنات **TRIGGER LEVEL**، **STABILITY** عدد منتصف الواحدة ، لاسفل الجهاز أن ينقل نقطة البدء للموجة المعروضة. وعند الاستخدام العادي ، يدار مضطرب الـ **Trigger level** الى وضع **AUTO** ، وفي هذا الوضع ، يمكن التحكم في البدء بضبط وضع مفتاح انتقاء بدء الميل [بين علامتي « + » ، « - »] .

ويحوى الواجهة اليمنى من مرسمة اشعة الكاثود التنبؤات مضبوط قاعدة الرمز شامله VARIABLE CONTROL ومفتاح Time/cm . وتكون تدريجات قاعدة الرمز عند مفتاح Time/cm صحيحة فقط في حالة ادارة الـ VARIABLE CONTROL الى وضع Calibrate الحساس بها . ماذا تم ضبط الـ Time/cm الى 1ms وادبر مضبط Variable الى Calibrate .

على دورة واحدة من اشارته تردد 10 Hz تكاد تكفى لشغل 10 cm نقط على الاتجاه الامتلى (او X) . ويسمح الـ X-shift المتغير لشغل الجهاز ان يرحل كل الاثر اما الى اليسار او اليمين - فوق الشاشة وعلى بعض الاستخدامات ، يصبح من الضروري قفل مولد قاعدة الرمز . وقد أصبح مفتاح في الـ Time base Variable Control لهذا الغرض .

ولتكمله وصف المضبط ، قد انحب مضبط BRIGHTNESS والـ FOCUS في اعلى واجهة الجهاز . وتسمح هذه المضبط بتحقيق الامراض المذكورة . اى انها تسمح لشغل الجهاز . تغيير سطوح ودرجة التركيز على التوالي ، للنقطة المضيئة (او الاثر) فوق الشاشة . وفى معظم الاحيرة قليلة التكلفة ، يؤثر كل من هذين المضطين في بعضهما البعض بحيث يؤدي زياده السطوح الى تقليل درجة التركيز . وتطلب الامر ضبط كلا المضطين في نفس الوقت للحصول على اثر حاد وبالوميص الصحيح .

١٦ - ٥ استخدام مرسمة التنبؤات كجهاز للقياسات

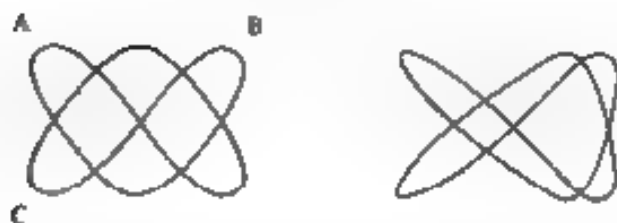
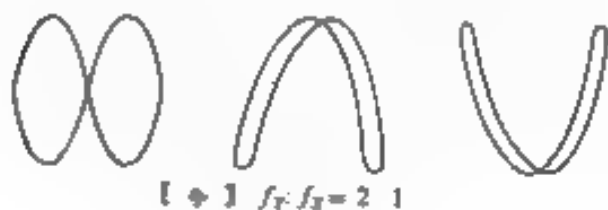
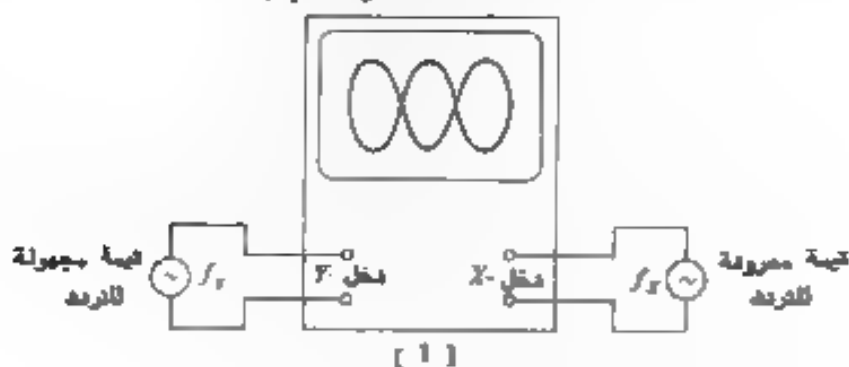
ان اكثر استخدامات مرسومات التنبؤات على وجه الاطلاق هو للمهام العامة للاشكال اموجية في الدوائر . وعادة يلمع مرضى نطاق مرسمة اشعة الكاثود للتنبؤات قليلة الكلمة حوال 10 MHz - 2 ، ويعبر هذا كائنا لسد احتمالات معظم مستخدمى الجهاز .

وعندما يستخدم لقياس الفترات الزمنية ، يصبح من الضروري لولا ان يتم معايرة قاعدة الرمز باستخدام مصدر ترددات معلومة . ولكن من الاحيرة بالداخل مصدر اشارة سبق معايرته بكل دقة . ماذا لم يكن هذا هو الحال ، فان مصدر تلمعه التيار المتردد يعتبر على درجة معقولة من الدقة بحيث يمكن استخدامه كاشارة معايرة . فلذا كان تردد المسح 50 Hz ، ومع ضبط مفتاح الـ Time/cm عند 10 ms/cm فمن اللازم ان تظهر خمس دورات كاملة لشكل مصدر الجهد الموجى في عرض فترة 10 cm من المقياس المعينى .

ومن الممكن تحديد تردد اشارة موجية بنوعية الجهاز لكى يولد لشكالا للاثر تعرف باسم اشكال ليساخوس . ومراحل هذا تقفل قاعدة الرمز ويتم توصيل التردد المجهول لدخل - Y من مرسمة التنبؤات (انظر شكل

١٦ - ١٢ [١] . ويتم توصيل مذبذب ثان معروف التردد ، الى لوحى X من مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات ، كما هو موضح بالشكل . ويعتمد الاثر الناتج فوق الشاشة على النسبة بين الترددين وكذلك على علاقات الطور بينهما . فعندما كانت النسبة بين الترددين f_Y و f_X تساوى ١ : ١ [انظر شكل ١٦ - ١٢ ب] فان الشكل المرسوم فوق الشاشة يصبح خطا مستقيما او قطعاً ناقصاً او دائرة . ويعتمد ظهور اى شكل من هذه الاشكال على قيمتى الاشارتين النسبية وعلى زاوية الطور بينهما . وتحتض نسبة تردد مقدارها ١ : ٢ نماذج شكل [ج] ، وتحتض سببه تردد ٢ : ٨ النماذج المبينة فى شكل [د] .

مرسمة اشعة الكاثود للتذبذب



[د] $f_Y : f_X = 3 : 2$

شكل ١٦ - ١٢ [١] شكل دائرة مستخدم للحصول على الشكل ليسيوجوس ، [ب] ، [ج] و [د] توضح التوافق بترددات المرسوم

ونحدد النسبة بين قيمتي هذين الترددين من الشكل المعروض كما يلي :

[انظر شكل ١٦ - ١٢ د] .

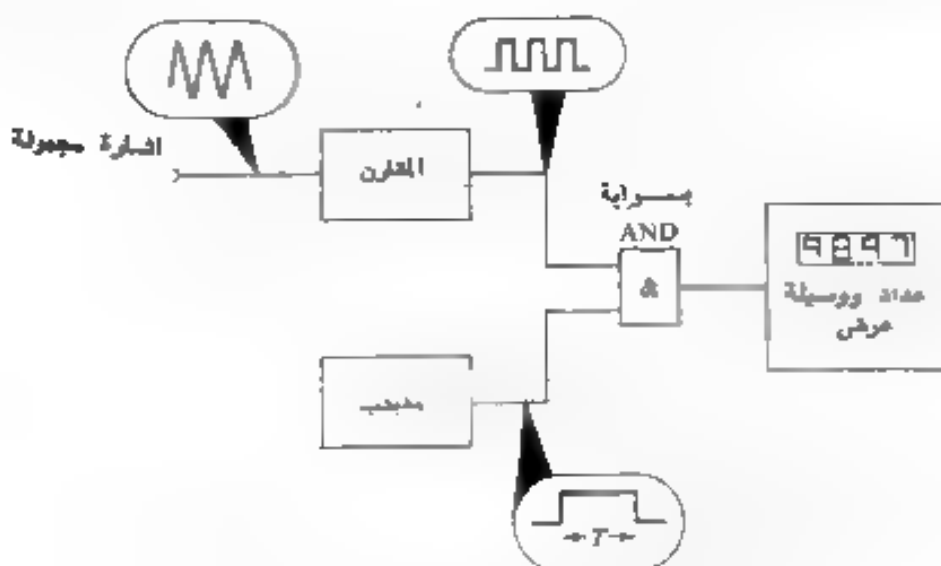
$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{\text{عدد الحلقات بين A و B}}{\text{عدد الحلقات بين A و C}}$$

ومن النادر أن يكون شكل الاثر مستقرا لأي من الرسم ، حيث أن زاوية الطور بين الاشارتين معير مبطل . ففي حالة نسبة مقدارها 1 : 1 بين الترددين ، قد يتغير الشكل ببطء من الخط المستقيم في يسار شكل [ب] الى شكل قاطع ناقص ثم الى اشكال دائرية حتى يصل الى شكل الخط المستقيم الموضح في يمين الشكل . وقد يعود بعدئذ ببطء لاشكلها الاصل .

١٦ - ٦ الأجهزة الرقمية لقياسات التردد والزمن

بالرغم من امكانية قياس التردد ومنزلة الزمن باستخدام مرسمة اشعة الكاثود للتدوينات ، فإن دقة القياسات تعتبر محدودة . فكلها تطلب الامر قياسات على درجة عالية من الدقة لهذه الكميات ، فمن المعتاد استخدام الأجهزة الرقمية .

وبوضح شكل ١٦ - ١٣ فكرة عمل مقياس التردد الرقمي . فمقياس قيمه التردد المحولة ، يحول الشكل الموجي أولا الى مجموعة من النبضات بواسطة المنصر المقارن في الدائرة . إذ يسمح بدخول لبضات الخارجة من المقارن الى



شكل ١٦ - ١٣ ، بيان اجهزى لقياس التردد

دخل العداد عن طريق بوابة « و » ، والتي يسلط عند دخلها اشارة دخل اخرى من مذبذب ذي تردد على قدر كبير هذا من استقرار الذنبية .

وتستخدم فترة زمن مولد النبضات الميكانيكي "T" كمرة حاضرة ، يتم خلالها أحد عينات مجموعة النبضات المعطاة من التردد المحسوب . ماذا أنتج مصدر الإشارة تحت الاختبار 9897 وببضبة في النتيجة واستغرقت الفترة T لإشارة المدمج ربما قدره ثانية واحدة ، على العداد يظهر عند نهاية الفترة 9897 . وفي المعدات التحيرية ، يكرر عمله العد بطريقتة مستمرة ، وتعتبر القيمة التي تظهر مع تغير التردد المراد قياسه .

ويوضح الشكل الاحمالى ١٦ - ١٤ فكرة عمل نوع آخر من الاجهزة يسمى باسم عداد الوقائع . اذ يعد هذا الجهاز عند الحوادث B التي تحدث خلال فترة زمنية معينة عند الدخل A . وقد يستخدم ، مثلاً - لتحديد عدد الوحدات التي تمر بنقطة معينة في خط الاسلاك خلال مرة زمنية معينة . وتقتنع الإشارة عند الحط A بواسطة « و » خلال زمن قدره T يتم خلاله عد النبضات المسطحة على الحط B . ومن الممكن توليد هذه النبضات بواسطة محول طاقة مناسب في خط الإنتاج .



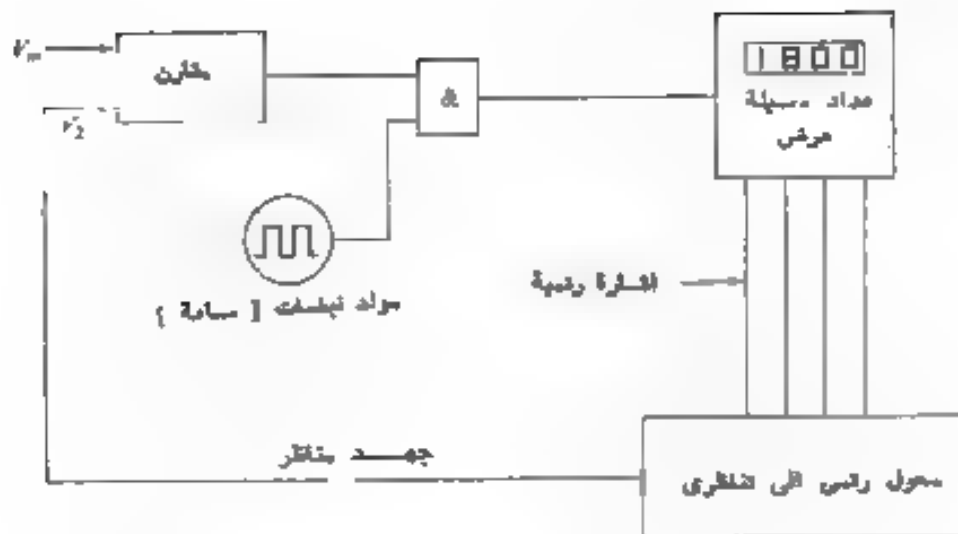
شكل ١٦ - ١٤ بيان احمالى لعداد وقائع

١٦ - ٧ وحدات الفولتميتر والمقاييس متعددة المدى

تصنع أشكال شتى من اجهزة الاختبار وتشمل وحدات الفولتميتر والميلى امبير والامبير مع مقاييس التردد ووحدات التوقيت التي سبق ذكرها .

ونحنى اتخاذ الصلطة عند انتقاء جهاز رقمى ، حيث قد تكون المواصفات مضللة . اذ معين العرض المقدم بدلالة عدد الارقام المبرئة ، فمثلاً يستطيع بعض الاجهزة بأربعة « نوايذ » أن تغطي أقصى رقم يمكن قراءته يساوى 9999 ، وسنبا يبلغ في البعض الآخر يبلغ أقصى رقم يمكن قراءته 1999 فقط . وفي العادة يبلغ دقة معظم الاجهزة الرقمية ± 1 الرقم عند طرف القياس الأقل أهمية .

ويصنع عدد من الانواع الانسابية وحدات الفولتميتر الرقمية (dvm) ومن شكل ١٦ - ١٥ بياناً احمالياً لتتوع منها . وفي هذه الحالة ، يسلط جهد الدخل V_m محمول القيمة على المقارن وبمعه جهد آخر V_2 . فعندما تزيد قيمة V_m من قيمة V_2 ،

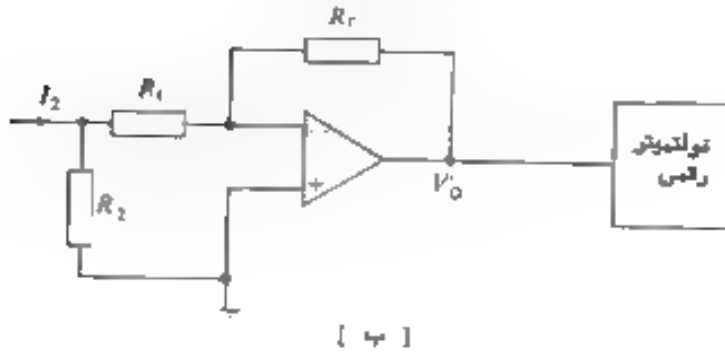
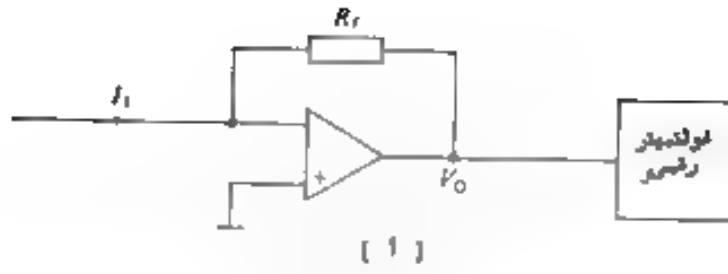


شكل ١٦ - ١٥ بيان لجمالي لواحد من أنواع الفولتميتر الرقمي

يكون الخرج إشارة منطق « ١ » التي تفتح بوابة « و » في الشكل لكن $V_m = 18V$ ، $V_2 = 0$ ، بصفة مبدئية ، ففي هذا الوقت يصبح خرج المقارن منطق (1) الذي يسمح بتسليط نبضات من إشارة الساعة للعداد وطبقا لدرجة تسليط نبضات الساعة إلى العداد ، يتم عددها وعرضها في التلو . وفي نفس الوقت ، يتم تسليط خرج العداد لمحول رقمي - إلى - تناظري ، والذي يحول القيمة الرقمية إلى جهد كهربائي V_2 . فإذا ما انتج المحول الرقمي - إلى - تناظري جهد خرج قدره $0.01V$ - لكل رقم يعرض العداد ، فإن الخرج V_2 من المحول يساوي $18V$ ، بعد انتهاء عد 1800 نبضة . وعندما يحدث هذا الوضع ، $V_2 = V_m$ وينتقص خرج المقارن إلى الصفر . ويؤدي هذا إلى تقييد تشغيل بوابة « و » ، وينبع المريد من النبضات من تسلط إلى العداد . ومن الممكن بمقدور معايرة القراءة المعروضة بدلالة جهد الدخل . ويعتمد وقت التحويل النهائي على تردد المصدر المعدي للساعة فإذا بلغ هذا التردد $1kHz$ ، مثله يلزم 185 لانها القراءة مع جهد دخل مقداره $18V$ فإذا كان تردد الساعة $100kHz$ فسوف يلزم 0.0185 فقط .

القياسات الرقمية للتيار : يوضح شكل ١٦ - ١٦ (١) دائرة مناسبة

لقياس تيم صغيرة جدا من التيار في المدى من حوالي $10nA$ ($1nA = 10^{-9}A$) إلى حوالي $1mA$. ويسلط التيار المراد قياسه ، إلى دخل مكرر تشغيلي ، ونظر للكسب المكرر التشغيلي المرتفع ، يمر هذا التيار خلال المقاومة R_f . ويصبح مقدار خرج المكرر التشغيلي هو $I_1 R_f$ من وحدات الفولت . فإذا كانت $R_f = 10k\Omega$ وكانت قيمة التيار المقاس تساوي $0.1mA$ ،



شكل ١٦ - ١٦ الفولت رقمي للتيار إلى [أ] قيم صغيرة جدا للتيار [ب] قيم أعلى للتيار

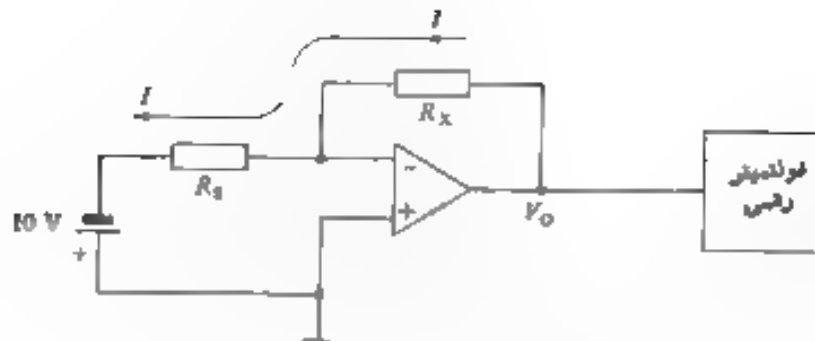
من مقدار جهد الخرج من المكسر التشغيلي يصبح 1 V وسط هذا الجهد على فولتميتر رقمي ، مما يؤدي إلى معايرة قراءة قدرها 1 V لتيار قيمة 0.1 mA .

ويمكن استخدام الدائرة الموضحة في شكل ١٦ - ١٦ [ب] لقيم أعلى للتيار ١ حتى حوالي 1 A ، وتصنع قيمة جهد الخرج من المكسر التشغيلي ، في هذه الحالة كما يلي .

$$V_0 = \frac{R_2 R_f}{R_1 + R_2} I_2$$

ومرة أخرى ، يمكن معايرة الجهد المخرجه في الفولتميتر الرقمي بدلالة التيار I_2 .

القياسات الرقمية للمقاومة : يمكن استخدام الفولتميتر الرقمي مع المكسر التشغيلي كما هو موضح في شكل ١٦ - ١٧ ، ليعطي بيانا رقميا لقيمة R_x . وتصلح هذه الدائرة لقيم من المقاومة أكبر من حوالي $100\ \Omega$. تستخدم المقاومة R_x المجهولة القيمة في حقة التغذية المرتدة ، ونستخدم مقاومة قياسية R_s كمقاومة دخل . وتصنع قيمة التيار المار خلال كلتا المقاومتين كالآتي :



شكل ١٦ - ١٧ المرفق الرقمي للبطارية

$$I = \frac{10}{R_s} = \frac{V_O}{R_x}$$

لذا

$$R_x = \frac{V_O}{10} R_s$$

فإذا كانت $R_s = 10 \text{ k}\Omega$ و $V_O = 1 \text{ V}$ فإن $R_x = 1 \text{ k}\Omega$. وبهذه الكيفية ،
يمكن معايرة قراءة الفولتميتر الرقمي بدلالة المقاومة .

مراجع لمزيد من القراءة :

Electrical Principles

N. M. Morris, *Electrical Circuits and Systems*, Macmillan, 1975

M. R. Ward, *Electrical Engineering Science*, McGraw-Hill, 1974

G. Stott and G. S. Birchall, *Electrical Engineering Principles*, McGraw-Hill, 1969

Linear Electronics

N. M. Morris, *Industrial Electronics*, McGraw-Hill, 1970

N. M. Morris, *Advanced Industrial Electronics*, McGraw-Hill, 1974

Digital Electronics

N. M. Morris, *Logic Circuits*, 2nd Edn, McGraw-Hill, 1976

N. M. Morris, *Digital Electronic Circuits and Systems*, Macmillan, 1974

Semiconductor Devices

N. M. Morris, *Semiconductor Devices*, Macmillan, 1976

Glossary قائمة بالمصطلحات !

Chapter 1

الفصل الاول :

Diffusion Current	تيار الانتشار
Drift current	تيار الانسياب
Hole	مجرة
leakage current	تيار التسرب
Charge carrier	حاملات الشحنة
Current source	مصدر تيار
Electron	الالكترون
Majority charge carrier	الشحنات الكهله ذات الاغلبيه
n-type semiconductor	النوع السالب [س] الموصل
Nucleus	النواة
p-type semiconductor	النوع الموجب [م] تشبه الموصل
proton	بروتون
Resistance temperature coefficient	معامل المقاومة الحرارى
Valence electron	الالكترون التكافؤ

Chapter 2

الفصل الثاني :

feed back	تغذية مرتدة
carbon composition resistor	مقاومة كربونية التركيب
carbon film resistor	مقاومة ذات غشاء كربونى
cermet potentiometer	مقياس الجهد السيرميترى
conductive plastic potentiometer	مقياس الجهد الموصل البلاستيك
cracked carbon resistor	مقاوم الكربون المشقق

High stab carbon resistor	مقاومة كربونية ذات درجة استقرار مرتفعة
Rectilinear potentiometer	مقياس جهد خطي
Thick film resistor	مقاوم الحشاء [فيلم] السميك
Metal glass resistor	مقاوم معدني زجاج [مصقول]
Metal film resistor	المقاومة المشاطية المعدنية
Tolerance range	مدى التسامح
voltage dependant resistor	مقاومة تابع الجهد
Wire wound resistor	مقاومة السلك الملفوف
Colour code	الرمز بالألوان

Chapter 3

الفصل الثالث :

Air dielectric capacitor	مكثف ذو عازل هوائي
Ceramic dielectric capacitor	مكثف ذو عازل خزفي
Device	تطبيقية
Mixed dielectric capacitor	مكثف ذو عازل مختلط
Electrolytic capacitor	مكثف الكتروليسي
Letter code capacitor	رموز الحروف للمكثف
Metallized paper capacitor	مكثف ذو صحائف ورقية بمعدنة
Paper dielectric capacitor	مكثف ذو عازل ورقي
Permittivity	سمحية ثابت العزل
Silvered mica capacitor	مكثف الميكا المفضض
Plastic film dielectric capacitor	مكثف ذو غشاء البلاستيك العازل

Chapter 4

الفصل الرابع :

Magnetic screening	الحجب المغناطيسي
Choke	خفاق
Dust core	قلب من البرادة
Eddy current	تيار دوامسي

ferrite	فريت
Ferromagnetic material	مواد فيرومغناطيسية
Self Inductance	محاثة ذاتية
Laminated iron core	قلب من رقائق الحديد
Electrical Noise	تشويش كهربائي [ضوضاء]
Pot core	قلب الوعاء
Powdered iron core	قلب مسحوق الحديد
Magnetic saturation	التشبع المغناطيسي

Chapter 5

الفصل الخامس :

Alternating waveform	شكل موجي متردد
Waveform analysis	تحليل الشكل الموجي
Waveform synthesis	تركيب الشكل الموجي
Angular frequency	تردد زاوي
Electromagnetic frequency spectrum	طيف التردد الكهرومغناطيسي
Harmonic	توافقي
Mark -to -space ratio	نسبة الإشارة الى المبعادة
Mean value of sinewave	القيمة المتوسطة للموجة الجيبية
Peak value	القيمة القروية
Periodic time of a Wave	الزمن الدوري للشكل الموجي
Phase angle	زاوية الطور
Phase lag	طور متخلف
Phase lead	طور متعتم
Phasor	بيان علاقة الطور
Radian	زاوية نصف قطرية

Chapter 6

الفصل السادس :

Acceptor Circuit	دائرة متقبلة
Rejector circuit	دائرة رافضة

Capacitive reactance	مفاعلة سعوية
Cut — off frequency	تردد قطع
Decibel (dB)	ديسيبل
frequency response curve	منحنى استجابة التردد
Parallel circuit	دائرة توازي
Impedance	معاوقة
Mutual Inductance	حث متبادلي
Power factor	معامل القدرة
Q-factor	معامل الجودة

Chapter 7

الفصل السابع :

Transformer	محول
Air core	قلب هوائي
Transient	مرحلة عابرة
Dot notation	علامة النقطة

Chapter 8

الفصل الثامن :

Centre-tap rectifier circuit	دائرة موحد ذو نقطة تدرع متوسطة
Enhancement-mode FET	المتوال التدميمي للترانزستور التأثير المجالي
Field-effect transistor	ترانزستور تأثير المجال
Insulated-gate FET	ترانزستور التأثير المجالي ذو البوابة المعزولة
Spark quench diode	دايود الشرارة المطفأة
Break down	انهيار
Reverse	عكسي
Zener	زينر
Depletion region	منطقة استنفاد
Diode	دايود
Derating of	تناقص القدرة المسموح بتوسيعها في الوصلات مع ازدياد درجة الحرارة المحيطة

Protection of Zener	وقاية الزينتر
Flywheel diode	دايود تنظيم السرعة [حدائة]
Varactor diode	فاراكثور دايود [دايود لتغير سعة حسب الفولتية]
Varicap diode	فاريكاب دايود [دايود متغير السعة]
Forward bias	اتحياز امامى
Thermal resistance	مقاومة حرارية

Chapter 9

الفصل التاسع :

Peak-point voltage	النقطة الذروية للجهود
Pinch-effect resistor	مقاومة تأثير التضييق
Pinchoff voltage	جهد نهاية التضييق
Common-base connection	توصيلة القاعدة المشتركة
Common-Collector Connection	توصيلة المجمع المشتركة
Cut off operation	التفصيل فى حالة القطع
Insulated-gate field effect (FET)	ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة المعزولة
junction gate field effect (FET)	ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة الموصلة
Unijunction Transistor	ترانزستور احدى التوصيل
Current gain	كسب التيار
Early effect	تأثير مبكر
Field-effect transistor	ترانزستور التأثير المجالى
n-p-n transistor	ترانزستور م.م.م
p-n-p transistor	ترانزستور م.م.م
PUT	ترانزستور لحدادى الوصلة ببرمج
Numbering system of transistor	النظم العددية للترانزستور
h-parameter	بارامتر

Chapter 10

الفصل العاشر :

Photoelectric	كهروضوئي
Cold-cathode display	عرض بأشعة الكاثود
Display device	تعبئة عرض
Dot matrix display	عرض مصفوف النقطة
Filament display, 7 — segment	فتيلة عرض ، ٧ — قطع
liquid crystal display	مبين السائل البلوري
Photo Diode	دايود ضوئي
Gas — filled display	مبين مملوء بالغاز
Light-emitting diode	دايود الانبعاث الضوئي
Optically coupled isolator	عازل التقارن الضوئي
Optoelectronics	الالكترونيات الضوئية
Phosphor diode display	مرسمة الدايود الفسفوري
Photo conductive cell	خلية موصلة ضوئية
Photoemissive cell	خلية مبتعثة للالكترونات تحت تأثير الضوء
Photo thyristor	ثايرستور ضوئي
Photo voltaic cell	خلية جهد ضوئية
Solar cell	خلية شمسية

Chapter 11

الفصل الحادي عشر :

Amplifier	مكبر
band width	عرض النطاق الترددي
Chopper	قطّاع
Class A	طائفة A
Class AB	طائفة AB
Class B	طائفة B
Class C	طائفة C
Common — source	مصدر مشترك

Common — emitter	المطلق ، المشترك
Direct coupled	التقارن المباشر
Operational amplifier	مكبر تشغيلي
Phase inverting	عاكس الطور
Push — pull	دفعي وجذب
Thermal runaway	اسمات حراري
Binary notation	الدالة الثنائية
CMOS	اشباه الموصلات الاكسي معدنية المتتالية
Positive logic notation	اصطلاحات المنطق الموجب
Chapter 12	الفصل الثاني عشر :
Dual — in — line (DIL) package	تغليفه مجموعة ثنائي الخطوط DIL
Film integrated circuit	دائرة غشائية متكاملة
Flatpack encapsulation	تغليف المجموعة المسطحة
Chip, Semiconductor	شريحة رقيقه ، اشباه الموصلات
Die, Semiconductor	قالب ، اشباه الموصلات
Epitaxial Layer	طبقة ايباكسيل [فوقيه]
Integrated circuit	دائرة متكاملة
Film	غشاء
LSI	مقياس مكبر للدائرة التكاملية
Monolithic	قطعة واحدة
MSI	مقياس متوسط للدائرة التثليل
Packaging of	تغليف الـ
Substrate	قاعدة مغلية
Thick film circuit	دائرة الغشاء السميك
Wafer, Semiconductor	رقاقة شبه موصل
Monolithic integrated circuit	دائرة متكاملة ذات قطعة واحدة

Chapter 13

الفصل الثالث :

Phase splitting	مطر الطور
A stable multivibrator	متعدد الاهتزاز المتصل
Phase shift oscillator	مكرر اراحة طوري
Relaxation oscillator	متذبذبة تراج
Feedback amplifier	مكرر بعدية مبردة
Gain — bandwidth product	حاصل ضرب عرض النطاق الترددي في الكسب
Oscillator	متذبذب
Positive feedback	تعددية مرتدة موجبة
Pulse generator	مولد نبضات
Source follower	مصدر تابع

Chapter 14

الفصل الرابع عشر :

Difference amplifier	مكرر فرقي
Differential amplifier	مكرر تفاضلي
Backlash voltage	جهد التقيوت
Noise immunity	حصانة ضد التشويش
Virtual earth point	نقطة ارضية افتراضية
Voltage comparator	مقارن للجهد
Voltage follower	تابع الجهد
Operational amplifier	مكرر تشغيلي
Inverting amplifier	مكرر عاكس

Chapter 15

الفصل الخامس عشر :

Burst firing control	التحكم في تشعير الاشعال
Crowbar overvoltage protection	محل الوقاية من تزايد الجهد
Current limiting circuit	دائرة الحد من التيار

d-c link converter	مغير وصلة تيار مستمر
Delay angle	زاوية تعويق
Depletion region	منطقة استنفاد
Overcurrent protection for series regulator	منظم التوالى للوثاية من تجاوز التيار
Silicon controlled switch	المفتاح السليكونى المحكوم
Triac	تراييك
Zero-point firing	الاشعال عند نقطة الصفر
Zero-voltage firing	الاشعال عند جهد الصفر

Chapter 16

الفصل السادس عشر :

Cathode ray oscilloscope	اشعة الكاثود للبديديات
Digital measurement	قياسات رقمية
Digital voltmeter	فولتميتر رقمى
Audio frequency oscillator	مذبذب ذو ترددات سمعية
Blocking capacitor	مكثف مانع
Electronic voltmeter	فولتميتر الكترونى
Lissajous figures	اشكال ليساجوس
Multirange meter	مقياس متعدد المدى
Ohm meter	جهاز قياس المقاومة
Signal generator	مولد اشارة

الفهرس

١٧٨	استقرار حرارى
١٦٨ — ١٦٩	اشباه الموصلات الاكسى معزلة المتتامة
(انظر بوابة)	اشباه الموصلات الاكسى معدنية المتتامة
٢٧٠	اشغال الدورة الكاملة
٢٧٠	اشغال عند جهد الصفر
٢٧٠	اشغال عند نقطة الصفر
٢٨٨ — ٢٨٧	اشكال لياحوس
١٩٢	اصطلاحات المطلق الموجب
	اكثر قدرة مبددة :
١٢٧	ترانزستور
١٢٨	دايود زيسار
٥	اكثر الشحنات الحاملة ذات الاغلبية
١٥٣	الالكترونيات الضوئية
١	الكثرون ١
١٣	الكثرون التكنو
١٧٨	انحراف فى المكبرات
٢٨٢ — ٢٨٤	انحراف مستطيرمنى لرسمه اشعة الكاثود للتنبيلات
١٠٦	انهيلز املسى
	انهيلز مكسى
١٧٩	انفلات حرارى
١٠٧	انهيلز
	مكسى
١٢٧ ، ١٠٧	زيسر (Zener)
١٩٥	لو (OR)
	او (OR) — للنوابة (انظر بوابة)
١٣٦	يلراميتز — h

٢٢٠ — ٢١٩	باعث مشترك
٢٥٩ ، ١١١	بالوعة حرارة
١٩٤	بت bit
١	بروتون
٦	بوابة
(انظر بوابة)	بوابة منطقية
(انظر بوابة)	بوابة منطقية من اشباه الموصلات الاكسي معننية
(انظر بوابة)	بوابة لاسماح لو (NOR)
(انظر بوابة)	بوابة لاسماح و (NAND)
(انظر بوابة)	بوابة نفى (NOT)
(انظر بوابة)	بوابة « و » (AND)
١٤٢	بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى
٧٠	بيان هلاثة الطور
١٩٥	و (AND)
٢٤١	تابع الجهد
٢٢٢ — ٢٢١	تابع المصدر
١٣٩	تأثير مبكر
٢٠٩ — ٢٠٧	تجميع الدائرة المتكاملة
٢٦٢	تحكم فى الطور للتأثير مستور
٢٧٠	تحكم فى تفجير الاشعاع
٧٦	تحليل الشكل الموجى
٦٧	تردد
٢٥٨	ترانزستور التأثير المجالى (FET) ذو بوابة معزولة
٧٦	تحليل الشكل الموجى
٢٦٦	ترايك
١٤٨	ترانزستور احدى التوصيل
١٤٩	قابل للبرمجة

١٤	ترانزستور احادي القطب (انظر ترانزستور التأثير المحلي)
١٣٢	ترانزستور
١٤٩	احادي التوصيل قلل للبرمجة
١٤٨	احادي الموصل
١٤٠	التشغيل في حالة القطع
١٤٠	التشغيل في حالة التشبع
١٥٠	النظم المعبدة لـ
١٧٩	انفلات حراري لـ
١٤٥	ترانزستور التأثير المحلي ذو البوابة الموصلة
١٤٢	ترانزستور التأثير المجالي ذو البوابة المعزولة
٢١	تعريف
١٣٦	توصيلة النامك المشتركة
١٤٣	توصيلة المصدر المشتركة
١٤٢	توصيلة المجمع المشتركة
١٤٠	توصيلة القاعدة المشتركة
١٣٢ — ١٣٤	سالب — موجب — سالب (n-p-n)
٤٦	نسوي
٢٠٤	ممتو
١٣٢	موجب سالب — موجب (p-n-p)
١٣٢	وصلة ثنائية القطب ،
١٤٢	بوابة توصيل
١٤٨	شمس الموصل الاكسي معتنى
١٨٢	في المكبر
١٨٥ — ٩١	تردد القطع
١٤٢	ترانزستور تأثير الحال
١٤٥	البوابة المعزولة
١٨٥	تردد تركي

٧٢	تردد زاوى
١٥٩	ترانزستور ضوئى
٢٠٤	تركيب مضبو
(انظر بوابة)	ترانزستور — ترانزستور — منطقى
٧٥ — ٧٥	تركيب الشكل الموحي
١٢٢	ترانزستور موجب — سالب — موجب (p-n-p)
١٩٩ — ١٩٨	ترانزستور — ترانزستور — منطقى
٢٤٨	تردد محادل
١٨٦	تشغيل المكبر على الطائفة (A)
١٨٧	تشغيل المكبر على الطائفة (B)
١٨٧	تشغيل المكبر على الطائفة (C)
١٩٠	تشغيل المكبر على الطائفة (AB)
٥٩	تشويش كهريئى (فوضاء)
١٩٠	تقو مفرقى (مشترك)
١٦٠	تشغيل الترانزستور فى حالة التشبع
٥٧	تشبع مغناطيسى
	تغذية خلفية للجهد (انظر مكبر التغذية الخلفية)
٢١٠	تغليب المجموعة المسطحة
١٩٠	تعاكس (منطقى)
١٧٩	تغذية مرتدة سالبة
٢٢٣ ، ٢١١	تغذية مرتدة موجبة
٢٧٠ — ٢٦٨	توصيلة ثوارى معكوسة
	تغذية خلفية ثوال (انظر مكبر التغذية الخلفية)
	تغذية خلفية على التوازى (انظر مكبر التغذية الخلفية)
٧٥	توانقيات
	تيلر التغذية المرتدة (انظر مكبر التغذية المرتدة)
١	تيلر الاتسيع
٢	تيلر الانتشار

٥٧	تيار دوائى
	ثالثت زمنى
٤٩	مكثف ومقاومة (RC)
٣٨	ملف ومقاومة (RL)
٢٥٥ — ١٥٧	بايرسمور
٢٦٣	تحكم طورى لـ
٢٧٠	تحكم فى تعبير الاشغال
٢٦٦ ، ٢٥٥	ثنائى الانتحاء
١٦١	ضوئى
٢٥٥	ملع عكسى
٢٦٦	وقاية من
(انظر فايرسمور)	فايرسمور ثنائى الانتحاء
١٦١	فايرسمور ضوئى
٢٢ — ٢١	ثرمستور
٢٤٤	جهد التقويت
١٤٦	جهد العتمة
٢٤٤	جهد تحلقى
٧٠	جذر تربيعى لموسط مربع القيمة (ج.م.م)
٢٨٠ — ٢٧٩	جهاز قياس المقاومة
٢٧٣	جهاز قياس الجهد والمقاومة (VOM)
٢٨١ ، ٢٧٣	جهاز قياس متعدد المدى
١٤٤	جهد نهاية التغير
٢٣٩ ، ٢١٩	حاصل ضرب نطلق التردد والكسب
٥٩	حجب مغناطيسى
١٧٢	حالة المسكون
٥	حاملات الشحنة ذات الاقلية
١	حاملات الشحنة
٦٥	حث متلقى

٢٤٤	حملة ضد التشويش
٦٠	خلق
١٦١	خلية جهد ضوئية
١٦١	خلية شمسية
١٥٦	خلية ذات موصلية ضوئية
١٥٤	خلية انبعاث الالكترونات بتأثير الضوء
	دائرة اطارية (الدائرة الحلقية) - (انظر مكبر التضخيم المرتدة)
٢٥٢	دائرة الحد من التيار
١١٧	دايود الشرارة المفناة
١١٩	دائرة تصوية (ذات مرشح أمرار منخفض)
٨٥ - ٨٩	دائرة شميت للاطلاق
٩	دائرة توازي
٢٠١	دائرة تكاملية
٧	دائرة توالى
	دائرة موحد ذو نقطة تقعر متوسطة
١١٦	احداى الطور
١٢٢	ثلاثى الطور
١٣	دائرة نورتن المكثفة
٢٤٤	دائرة شميت للاطلاق
٢٦٨	دائرة المصدر ، BC ، (المتصلة للمحركات)
١٢	دائرة فيننتر المكثفة
٢٠١	دائرة غشائية متكاملة
٢٠١	دائرة الغشاء (فيلم) السبك
٢٠١	دائرة الغشاء (فيلم) الرقيق
٢١٠	دائرة المقياس المتوسط المتكاملة
١١٤	دايود تنظيم السرعة
٨٨ ، ٨٩	دائرة متقبلة

١٠٥	١٣٧٤	دأبوء ربءار
١٦٤		ءاموء الاسءءء الصوءى
١٥٦		ءاموء صوءى
١٣٠		ءاموء الامهبلر ءانئ الاتءاء
٩٣	٩٤	ءمسبل (dB)
		ءاءك
١٠٦		ءاءوء
١٢٤		ارءءاء ءرءاء الءراءاء المءبءاء
		ءاءءءء المءءءراء المءءءراء المسموء بءرءببهائى
		الموصلاء مع
١٥٦		صوءى
١١٤ — ١٠٧		رءبر
١٢٧		وءءلءاء الء
		ءاءر
		ءواءر مءءراء (انظر الءاءراء المءكاملة)
١٦٤		ءلاءة ءءءبءه
١١٧ — ٢٤٦		ءاموء موءءء
٢٠٢		رءقاءة ءءه موءءاء
٢٤ — ٤٦		رءبر بالالواء
		رءبوز الءروف
٢٤ — ٢٣		للمءاءوءة
٤٩ — ٥٠		للكءف
		رءبب
٨٤ — ٨٦		ءواءزى
٨٦ — ٨٩		ءواءلئ
٨٤ — ٨٨		رءبب ءواءزى
٧٤		راءوءة الءور
٢٦٢		راءوءة ءءوءق

٦٧	زمن القروى للشكل الموجي
٧١	راوية نصف قطرية
٥	سائر الشخصيات الحاملة ذات الاغلبية
٥٦	سائر مصطلحي (الحجب المغناطيسي)
١٢٤ - ١٢٢	صالب - موهب - صالب (D-P-B) للترانسفور
٣٥	سعة
٣٦	سماحية (ثابت المازل)
٢١٢ - ٢٢٢	شبكة β
	شبه الموصل الاكسي محلى
١٤٨ - ١٦٦	ترانسفور التأثير لمحلى
٣	تسمه موصل
٢٠٢	شريحة رقيقة ، اشياء الموصلات
٦٥	شكل موهى مفرد
٢٠٥ - ٢٠٦	طاقة فوقية (ايناكسيل)
٧٤	طور متخلف
	طور متقدم
٦٨ ، ١٨٤	طبف التردد الكهرومغناطيسى
١٦٨	عازل التقلرن الضوئى
٢٧١	عاكسى
	عرض النطاق الترددى
٨١ - ٨٣	دائرة رنين
١٦١	عرض مائمة الكنود
١٦٢ - ١٦٥	عرض مسجح قطع
١٦٦	عرض مصروف النقطة
(انظر نطاط S-R)	عنصر ثنائى الاستقرار
٢٠٤	عملية انتشارية
٩٠ - ٩١ - ١٠٠ -	علامة النقطة
١٠١	
٢	محوه

١٦٢	منبلة عرص ٧ — مطع —
٥٧	مريب
٢٦٣ — ٢٨١ — ٢٨٢	فولتيمتر الكترونى
٢٩.	مولنمبر رقى
	مولتيمتر :
٢٨١	الكترونى
٢٧٣ — ٢٨٢	تنامبرى
٢٩.	رمى
٢.١ — ٢.٢ — ٢.٥	قاعدة أو طبقه سملية
٦	مانون اوم
٦.	قامون لىر
٢.٢	فائب ، اشفاء نلموصلات
٥٩	قلب الوعاء
٥٧	قلب جديد رقى
٥٧	قلب مسخوق الحديد
٥٧	قلب من المراده
	مساب رقى
١٧٩	للتردد
٢٩.	للجهد
٢٩٢	لليقاومه
٢٩١	للتبىر
٦٨	قسه ذرويه
٧.	فيه فعالة ، للموحة الحسية
١٦ ، ٢٢	قيم بعملة
١٢٦ ، ١٤١	كسب التيار
١٢٣ ، ١٣٤ ، ٢١.٤	كسب التيار
١٦٨	ممن السائل الملورى
١٦١	ممن مملوء بالغاز

١٦٨	معين السقل الطوري
(انظر نطاط)	متعدد الاهتزازات ثنائي الاستقرار
٢١٠	مجموعه ثنائية الخطوط
٢٥٠	مرجع مصدر العهد
	محلّة :
٩٥	مقابلة
٥٦	دائمه
٥٦	محلّة ذاتية
٢٨٧ ، ٢٨٢	مرسمة اشعه الكاثود للتدبير
٩٥	محول
١٠٢	تردد سمى
١٠١	قلب هوائى
١٠١	قلب حديدى
١٠١	مصدر قفزه
١٠٢	نمضه
١٩٩	ممتد بطي
٢٢١ ، ٢٢٩	متعدد الاهتزازات المتصل
٢٥٥	مخل الوقتية من تزايد الجهد
١٦	مدى التفلات
٢٢٧	مخفف الكلف مع الملف
٢٢٣ ، ٢٢٥	مخفف
٢٢٦	مخفف ازاحة طوري
٢٣١	مخفف تراج
٢٦٣	مخفف نو وتعدادات سمعية
٢٢٧ — ٢٢٩	مخفف كوليتس
٢٢٦	مخفف متعدد التوافقيات (الطليق الحركة)
	مخفف متعدد التوافقيات
٢٢٩	(الغير مستقر) طليق الحركة

(انظر نطاط)	تتالى الحركة الطلبة
٢٥٥	مذبذب مانع مكس
٢٢٦	مذبذب قنطرة قين
١٦٨	مرسمة الداوود المسطور
١١٩	مرشح مويجى (متردد بجوى صغير)
١٠٥	مرحلة حليرة (انتقالية) نى
٤٩	عابر
١٤٨	مستقر الذاتية المياعة
١١ — ١٢	مصدر ثيلر
٢٥٠	مصدر جهد للمقارنة (مقارن)
٢٤٩ ، ٢٧٣	مصدر القدرة ثابت الجهد
١١	مصدر جهد
٩٠	معلوقة
٩٣	معامل القدرة
٨٦ ، ٩٠	معامل العودة Q
	معامل المقاومة الحرارى ٣ ، ٣١ ، ٢٧٥ (انظر
	ايضا المعامل الحرارية للمقاومة)
	معامل حرارى للمقاومة ١١٧ انظر ايضا معامل
	المقاومة الحرارى)
٢٧٢	مغير التردد
	مغير القبة التناظرية الى القيمة الرقمية (انظر
	الفولتمتر الرقوى)
٢٧٢	مغير ، وصلة ثيلر مستمر
٨٣	مفاعلة معوية
٢٠	مفرقات (مقاييس جهد) المسار الكربونى
٢٠ ، ٣١	مفرق (مقاييس جهد) الموصل البلاستيك
٢٠ ، ٣١	مفرق (مقاييس جهد) السيرميت
٥٢ ، ٥٥ ، ٦٣	مفاضل

٢٠	مفرق (مقياس جهد) طزوني المـ
٨١	مفاعلة حثية
٢٦ ، ٢١	مفرق (مقياس جهد)
٥٥	مفاعلة
٨١	حثية
٨٢	سموية
٧٧	مفرق (مقياس جهد) خطى
٢٥٥	مفتاح السيليكونى المحكوم
١٩	مقاومة السهرميت
١٨	مقاوم الكربون المشقق
١٩	مقاومة الفلزية المعدنية
١٦	مقاومة، الغشاء الاكسيدى
٢٠٤	مقاوم حبل للضوء
١٤٤	مقاومة — تأثير التفجير
٢٠	مقاوم الغشاء (فيلم) السبك
٢١	مقاوم الغشاء (فيلم) الرقيق
١٢٤	مقاومة حرارية
٢٣	مقاوم تلعب الجهد
٢٣	مقاوم تلعب الجهد
١٦	مقاومة كربونية التركيب
١٩	مقاومة ذات غشاء كرمونى
٢٤٤	مقارن للجهد
	مقاومة غشائية فيلم
١٩٦	مقاومة — فرانزستور — منطى
١٩	مقاومة كربونية ذات درجة استقرار مرتفعة
٢٠٩	مقياس مكبر لدائرة تكاملية
٢٠٩	مقياس مكبر للدائرة التكاملية
٢٠	مقاوم معدنى زجاج

١٩	مقلوبة عشاقية اكس معدنية
	مقوم (موحد) :
١٢٣	الموجة الكاملة
٢٦٥	تحكم جزئي
٢٦٦	تحكم كامل
١١٧	ثنائي الطور
١٢٣ ء ١١٧	نقطة تفرع متوسطة
٢٦٥ ء ١٢٣ ء ١١٧	قنطرة
١٢١	متعدد الطور
١٢٣	مجم مزدوج
١٢١ ء ١١٢	نصف الموجة
١٢٠ ء ١١٢	وحيد الطور
١٩٥	معلوم — القرائنستور المنطقي
٢٤٤	مقارن للجهد
٣٠ ء ٢١	مقاوم ملف سلكيه
٥٢ ء ٥٥ ء ٦٣ ء	مكاملة ء
٢٤٦ ء ٢٤٨	
	مكبر صاد (انظر الباعث التابع ء تلح المصدر — الجهد التابع)
١٨٥	مكبر قطاع
١٧١	مكبر الباعث المشترك
١٨٢	مكبر الباعث المشترك
١٨٥	مكبر تيار مستمر
٢٤٣	مكبر توافقي
٢٤٣	مكبر ترددي
٢١١	مكبر تغذية مرتدة
٢١٨ ء ٢١٤	ميسر
٢١٨ ء ٢١٤	ميسر

حاصل ضرب عرض النطاق الترددي في

الكسب

٢٢٩ + ٢١٩

مائل

٢١٥ + ٢١١

على التوازي

٢١٨ + ٢١٤

على التوالي

٢١٨٠ ١١٤٠ ٢١١

عرض النطاق الترددي

٢٢٩ + ٢١٩

كسب الـ

٢١٣ + ٢١٢

موجب

٢٢٣ + ٢١١

متعدد المراحل

٢١٦

مكبر مقرن مباشرة

١٨٥

مكبر خطي

١٧١

مكبر عكسي

٢٢٨

مكبر العمليات

٢٢٤ + ٢٠٨

مكبر القدرة

١٨٦ + ١٧١

مكبر شطر الطور

٢٢٣ + ٢٢٢

مكبر عكسي للطور

١٧٥

مكبر غير عكسي

٢٤٢

مكبر للتجميع

٢٤١

مكبر

١٩١ + ١٧٠

استقرار حراري لـ

١٧٩ + ١٧٨

انفلات حراري في

١٧٩

الباعث المشترك

١٧١

التوازن المباشر

١٨٤

الانحراف في

١٧٨

الفرق

٢٤٣

الباعث التابع

٢٢٠ + ٢١٩

بدون محول

١٩١

نوع الجهد

٢٤١

١٨٢	ترانزستور التأثير المجالى
١٨٦	تشغيلي
	تغذية مرتدة (انظر التغذية المرتدة الخلفية)
٢٤٢	تفاضلي
١٧١	جهد
١٧١	خطي
١٨٧	دفعي وجذبى
٢٢٢	شطر الطور
١٨٦	طائفة (A)
١٩٠	طائفة (AB)
١٨٧	طائفة B
١٨٧	طائفة C
١٧٥	ملكى الطور
١٨٢	عرض النطاق الترددى
١٨٥	تطـاع
١٨٦ ، ١٧١	قدرة
١٩٠ ، ١٥٩	كهروضوئى
٢٢٠	مصدر تابع
١٨٢	مصدر مشترك
١٧١	مفتاحي
١٨٥	مقرن مباشر
٢٨٢ ، ١٧٢	مكثف مانع
٢٤	مكثف
٤١	توصيل على التوازي
٤٢	توصيل على التوالي
٤٣	دائرة مكثفة لـ
٤٥	مكثف الكتروليتى
٤٥	مكثفات ذات منزل خزفى

٤٥	مكثف ذو عزل الميكا
٤٤	مكثف ذو عزل مختلط
٤٤	مكثف ذو صحائف ورقية ممعنة
٤٤	مكثف ذو عزل ورقي
٤٤	مكثف ذو غشاء البلاستيك العازل
٤٥	مكثف الميكا المفضضة
٤٤	مكثف ذو عزل هوائي
١٩٥	مكمل منطقي
	منحنى استجابة التردد
٨٩ ، ٩٢	دائرة نوازي
١٨٢ ، ٢٢٤	مكبر
١.٩	منطقة استنفاد
٢٥٣	منظم التوالي للوقاية من تجاوز التيار
٢٥٣ — ٢٥٥	منظم التوالي للوقاية من تجاوز الفولت
	منظم جهد (انظر مصدر القدرة ثابت الجهد)
	موحد قنطري
١١٧	احداى الطور
١٢٢ ، ٢٦٢	ثلاثى الطور
٥٧	مواد عالية الانفافية المخطيمية (مغرومضاطيمية)
٢٢١	مولد نبضات
٦٦	موجة اثرية (مثل من المنشار)
٢٢٦ ، ٢٤٧	مولد الموجة المربعة
٦٥	موجة جيبية
٢٧٢	مولد اشارة
١٦٠ — ١٦٧	نبيلة عرض ،
١٤٥	نمق استنفاد الترانزستور (بالتأثير المجالى)
٦٩	نسبة الاشارة الى المبعادة

١٤٦	نمى الاطرادى
١٩٩	نمى S-R
١٩٩ - ١٩٩	لاىماى ء لو (NOR)
١٩٩	نمى (لاىماى) (NOT)
١٥٨	نمى انمى
١١	نمى نمى الترانزستور (انظر نمى السكون)
١٨٥	نمى نمى النمى
١	نمى
٥	نمى النمى (n-type) نمى النمى
٥	نمى النمى p نمى النمى
	نمى الترانزستور (انظر الترانزستور نمى النمى)
	نمى الترانزستور نمى النمى (انظر الترانزستور)
١٠٨	نمى نمى
١٠٨	نمى نمى - نمى P-N

نمى
نمى النمى
نمى النمى

